

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WALESKA CAMARGO LAURETH

QUE COMPETÊNCIAS SÃO NECESSÁRIAS PARA TRABALHAR EM
NANOTECNOLOGIA? A DEMANDA DAS EMPRESAS E A OFERTA
EDUCACIONAL EM UMA ÁREA TECNOLÓGICA EMERGENTE.

CURITIBA
2014

WALESKA CAMARGO LAURETH

QUE COMPETÊNCIAS SÃO NECESSÁRIAS PARA TRABALHAR EM
NANOTECNOLOGIA? A DEMANDA DAS EMPRESAS E A OFERTA
EDUCACIONAL EM UMA ÁREA TECNOLÓGICA EMERGENTE.

Tese de doutorado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação, ao Curso de Doutorado, do Programa de Pós- Graduação em Educação, do Setor de Educação, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Noela Invernizzi

CURITIBA
2014

Catálogo na publicação
Fernanda Emanoéla Nogueira – CRB 9/1607
Biblioteca de Ciências Humanas e Educação - UFPR

Laureth, Waleska Camargo

Que competências são necessárias para trabalhar em nanotecnologia? A demanda das empresas e a oferta educacional em uma área tecnológica emergente / Waleska Camargo Laureth – Curitiba, 2014.

203 f.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Noela Invernizzi

Tese (Doutorado em Educação) – Setor de Educação da Universidade Federal do Paraná.

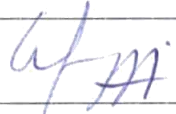
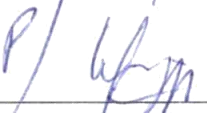


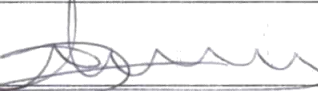
1. Mercado de trabalho - Efeito da educação. 2. Trabalhadores - Qualificação. 3. Educação para o trabalho. 4. Nanotecnologia. I. Título.

CDD 331.12

PARECER

Defesa de Tese de **WALESKA CAMARGO LAURETH** para obtenção do Título de DOUTORA EM EDUCAÇÃO. Os abaixo assinados: DR^a NOELA INVERNIZZI (Presidenta), DR^a ACACIA ZENEIDA KUENZER (Por Parecer), DR^a SILVIA MARIA FERREIRA DE ARAÚJO, DR. MÁRIO LOPES AMORIM e DR. ADRIANO PREMEBIDA (Membros Titulares) arguíram, nesta data, a candidata acima citada, a qual apresentou a seguinte Tese: "**QUE COMPETÊNCIAS SÃO NECESSÁRIAS PARA TRABALHAR EM NANOTECNOLOGIA? ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE EMPRESAS E DA OFERTA EDUCACIONAL NUMA ÁREA TECNOLÓGICA EMERGENTE**".

Procedida a arguição, segundo o Protocolo aprovado pelo Colegiado, a Banca é de Parecer que a candidata está apta ao Título de DOUTORA EM EDUCAÇÃO, tendo merecido as apreciações abaixo:

BANCA	ASSINATURA	APRECIAÇÃO
DR ^a NOELA INVERNIZZI		Aprovada
DR ^a ACACIA ZENEIDA KUENZER (Por Parecer)		Aprovada
DR ^a SILVIA MARIA FERREIRA DE ARAÚJO		Aprovado
DR. MÁRIO LOPES AMORIM		APROVADA
DR. ADRIANO PREMEBIDA		Aprovado

Curitiba, 21 de março de 2014.



Profª Drª Monica Ribeiro da Silva
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Educação

Profª. Dra. Monica Ribeiro da Silva
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Educação
Matricula: 125750



AGRADECIMENTOS

A gente sempre corre o risco de esquecer alguém que em algum momento da caminhada foi fundamental, mas espero que todos aqueles que fizeram parte deste meu processo se sintam abraçados e agradecidos.

A Universidade Federal do Paraná que por meio do Programa de Pós-Graduação em Educação, especialmente a linha de Trabalho, Tecnologia e Educação, produzem conhecimento crítico em direção de uma sociedade mais igualitária. Gratidão especial a professora Acácia Kuenzer que conduziu nossa turma nos meandros do método e que muito humanamente compartilhou sua experiência profissional e pessoal.

Ao apoio financeiro recebido pela CAPES, sem o qual a empreitada seria mais difícil. Dedicar-se integralmente aos estudos e a pesquisa faz muita diferença.

Aos professores que compuseram minha banca de qualificação Acácia, Silvia e Mário, e que gentilmente fazem parte da banca de defesa. Ao professor Adriano que aceitou o convite e cruzar o Brasil para a banca de defesa.

Aos pesquisadores, representantes das empresas e coordenadores dos cursos de graduação que colaboraram com a coleta de dados para a tese.

Gratidão Noela pela parceria, pelas orientações e pelos conselhos que extrapolaram do âmbito acadêmico. Espero que nossa parceria dure por muito tempo, a “nano” ainda tem muito para ser explorada.

Familiares e amigos, gratidão por me compreenderem, aceitarem meus momentos e incentivarem minhas escolhas.

Namastê!

Sinto que o tempo sobre mim abate sua mão
pesada.

Rugas, dentes, calva.

Uma aceitação maior de tudo, e o medo de novas
descobertas.

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

A nanotecnologia é considerada uma das áreas estratégicas na política brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação. Seu desenvolvimento tem sido fomentado desde 2001, e mais intensivamente, a partir do programa nacional de Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, lançado em 2004. A qualificação técnica de recursos humanos é uma das intenções do programa. O objetivo desta tese foi investigar se a incorporação incipiente da nanotecnologia em produtos e processos industriais no Brasil está gerando demandas profissionais e requisitos educacionais específicos aos trabalhadores que atuam em tais processos. Para isso, adotaram-se três frentes complementares de pesquisa: (i) analisar como as empresas que incorporam a nanotecnologia a sua atividade produtiva estão organizando as competências de sua força de trabalho e qual a qualificação demandada por estas empresas; (ii) examinar como as universidades estão organizando seus cursos de graduação para atender a demanda emergente do mercado de trabalho nesta tecnologia; (iii) analisar qual é a percepção de pesquisadores da área sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil e as demandas de qualificação para a força de trabalho. A metodologia de pesquisa consistiu na análise qualitativa e quantitativa de dados obtidos mediante questionários aplicados a vinte e duas empresas e a três coordenadores dos cursos de graduação, e ainda, em entrevistas com seis pesquisadores da área de nanotecnologia. Os dados coletados junto às empresas indicam que os trabalhadores envolvidos com a nanotecnologia se concentram principalmente nos setores de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), no entanto, está em aumento o número de trabalhadores da fabricação em atividades que envolvem a nova tecnologia. A demanda atual das empresas é de trabalhadores com escolaridade de nível superior que possuam capacidade de trabalhar em equipes multidisciplinares e estabelecer conexão entre os conhecimentos científicos e a aplicação comercial das propriedades nanométricas. Quanto à oferta de ensino de graduação, os resultados mostram que não há uma única forma de habilitar graduados para atuar no campo da nanotecnologia. Enquanto todos os cursos enfatizam a importância do diálogo entre as disciplinas, dois deles propõem uma especialização em nanotecnologia a partir de uma formação básica nas áreas científicas convencionais, enquanto outro propõe uma formação geral em nanotecnologia a partir de um curso estruturado com proposta interdisciplinar. Os pesquisadores entrevistados indicam que há qualificação técnica suficiente para a nanotecnologia no Brasil e a falta de competências científicas não diz respeito somente à nanotecnologia, mas sim, as carreiras tecnológicas em geral. Como resultado geral da pesquisa identificou-se que as competências valorizadas dizem respeito à escolaridade de nível superior, a capacidade de transitar ou dialogar com diversas áreas científicas e capacidade de trabalhar em equipe.

Palavras-chave: nanotecnologia, trabalhador, qualificação, inovação tecnológica industrial, educação.

ABSTRACT

Nanotechnology is considered one of the strategic areas of Brazilian policy for Science, Technology and Innovation. Its development has been ongoing since 2001, especially following the establishment of the National Program of Nanoscience and Nanotechnology in 2004. One of the aims of this program is to train and prepare people to work in this field. The objective of this thesis was to investigate whether the incipient incorporation of nanotechnology into products and processes in Brazil is resulting in new professional demands and educational requirements for the workers involved in nanotechnology processes. For this purpose, three complementary lines of research were adopted: (i) an analysis of how companies that use nanotechnology in their production are organizing the skills of their workforce and which qualifications these companies require of their workers; (ii) an examination of how universities are organizing their graduate courses to meet the emerging demands of the labor market where this technology is concerned; (iii) an analysis of the views of researchers in this field regarding the development of nanotechnology in Brazil and what is required of the workforce in terms of qualifications. The research methodology consisted of a qualitative and quantitative analysis of data obtained through questionnaires forwarded to twenty-two companies and three coordinators of graduate courses, in addition to interviews with six researchers in the field of nanotechnology. The data collected from the companies show that workers involved in nanotechnology are concentrated mainly in Research and Development (R&D) activities, but the number of manufacturing workers in processes that use this new technology is on the rise. Companies are currently looking for workers with higher education who are able to work in multidisciplinary teams and establish a connection between scientific knowledge and the commercial application of nanometric properties. Concerning the availability of graduation courses, the results show that there is no single form of preparing graduates to work in the field of nanotechnology. While all the courses emphasize the importance of dialogue between disciplines, two of them offer specialization in nanotechnology stemming from a basic graduation course in the conventional sciences. Another course offers a deeply multidisciplinary curriculum to obtain a general degree in nanotechnology. The researchers who were interviewed claim that there is sufficient technical training for nanotechnology in Brazil and that any lack of scientific skills is not unique to nanotechnology, but rather to technological careers in general. The general result of the study was that the most valued skills are higher education, the ability to maintain a dialogue with other scientific fields, and team working.

Key words: nanotechnology, worker, qualification, industrial technological innovation, education.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESCALA NANOMÉTRICA.....	25
FIGURA 2: MANDALA - UMA VISÃO DA NANOTECNOLOGIA.....	36
FIGURA 3. PROPOSTA DA ESTRUTURA PARA A SECRETARIA ESPECIAL DE NANOTECNOLOGIA.....	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. LABORATÓRIOS PERTENCENTES AO SISNANO SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO.....	87
TABELA 2. ELEMENTOS DO DOCUMENTO: ORIENTAÇÕES PARA DIAGNÓSTICO DO MERCADO DE NANOTECNOLOGIAS NO BRASIL.....	116
TABELA 3. EMPRESAS INCORPORADORAS DE NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA.....	124
TABELA 4. EMPRESAS FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA.....	125
TABELA 5. OBSTÁCULOS PARA EXPANSÃO DAS ATIVIDADES EM NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO AS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS.....	128
TABELA 6. FASE DA PRODUÇÃO EM QUE SE ENCONTRAM OS PRODUTOS/INSUMOS/SOLUÇÃO NANOTECNOLOGIA DAS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS DE NANOTECNOLOGIA.....	130
TABELA 7. NÍVEL DE ESCOLARIDADE DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS INCORPORADORAS, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE RELACIONADA À NANOTECNOLOGIA NAS EMPRESAS.....	132
TABELA 8. NÍVEL DE ESCOLARIDADE DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE RELACIONADA À NANOTECNOLOGIA NAS EMPRESAS.....	133
TABELA 9. ÁREAS DE FORMAÇÃO DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS INCORPORADORAS, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE.....	136

TABELA 10. ÁREAS DE FORMAÇÃO DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS FORNECEDORAS, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE RELACIONADA À NANOTECNOLOGIA NAS EMPRESAS.....	137
TABELA 11 – EXPERIENCIA PRÉVIA DOS TRABALHADORES ENVOLVIDOS COM ATIVIDADES DE NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO AS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA.....	138
TABELA 12 – COMPETENCIAS VALORIZADAS PARA TRABALHAR COM NANOTENCOLOGIA, SEGUNDO AS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA.....	139
TABELA 13 – TRAJETÓRIA CURRICULAR DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO BRASILEIROS COM ÊNFASE EM NANOTECNOLOGIA E A QUALIFICAÇÃO TÉCNICA PARA A ÁREA.....	150
TABELA 14. PERFIL DOS PESQUISADORES ENTREVISTADOS, SEGUNDO NÍVEL EDUCACIONAL E ATUAÇÃO PROFISSIONAL ATUAL.....	152

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNAE - Classificações de Atividades Econômicas

CNI - Comitê Interministerial de Nanotecnologia

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

FDA - Food and Drug Administration

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

INCT - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia

ISO - International Organization for Standardization

LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

LNNano - Laboratório Nacional de Nanotecnologia

MCT/MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MEC - Ministério da Educação

MERCOSUL – Mercado Comum do Sul

NANOEIS - Nanotechnology Education for Industry and Society

NNI - National Nanotechnology Initiative

NSF - National Science Foundation

PINTEC - Pesquisa de Inovação

PISA - Programa Internacional de Avaliação de Estudantes

PITCE - Política Industrial e de Comércio Exterior

SisNANO - Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia

UNESCO - Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 2. NANOTECNOLOGIA: CARACTERÍSTICAS GERAIS DO FENÔMENO E O DEBATE SOBRE AS IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS.....	24
2.1 POR UMA CARACTERIZAÇÃO GERAL DA NANOTECNOLOGIA	24
2.2 A CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA E A INTERDISCIPLINARIDADE	32
2.3 IMPLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA E DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA PARA A EDUCAÇÃO.....	39
2.4 INVESTIMENTOS, PRODUÇÃO E EXPECTATIVAS DE QUALIFICAÇÃO TÉCNICA PARA A NANOTECNOLOGIA.....	46
2.4.1 O mercado global e a atividade empresarial em nanotecnologia	47
2.4.2 Expectativas de qualificação técnica para a nanotecnologia e as práticas empresariais de mobilização da força de trabalho	53
2.5 SÍNTESE	60
CAPÍTULO 3. TRABALHO, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA.....	63
3.1 ORIENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA: CONCEITOS FUNDAMENTAIS NA PERSPECTIVA DO MATERIALISMO HISTÓRICO DIALÉTICO	63
3.2 ASPECTOS DA RELAÇÃO ENTRE TRABALHO, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA.....	69
CAPÍTULO 4. NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: A INICIATIVA NA POLÍTICA GOVERNAMENTAL E O FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DE NANOTECNOLOGIA.....	80
4.1 INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL	80
4.2 CAPACIDADES INTERNAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA	89

4.3 O HISTÓRICO DAS DISCUSSÕES DO FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DE NANOTECNOLOGIA	95
4.3.1 Fórum de Competitividade: 1º e 2º reuniões (2009).....	99
4.3.3 Fórum de Competitividade: 3º e 4º reuniões (2010).....	103
4.3.4 Fórum de Competitividade: 5º e 6º reuniões (2010).....	105
4.3.5 Fórum de Competitividade: 7º e 8º reuniões (2011).....	108
4.3.6 Fórum de Competitividade: 9º e 10º reuniões (2011).....	109
4.3.7 Fórum de Competitividade: 11º (2011) e 12º reuniões (2012)	113
4.3.8 Fórum de Competitividade: 13º (2012) e 14º reuniões (2013)	116
4.4 SÍNTESE	118
CAPÍTULO 5. QUE <i>COMPETÊNCIAS</i> SÃO NECESSÁRIAS PARA TRABALHAR COM A NANOTECNOLOGIA?	120
5.1 O PERFIL DAS EMPRESAS PESQUISADAS E AS EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA.....	123
5.2 OS ATUAIS ARRANJOS DE COMPETÊNCIAS E A QUALIFICAÇÃO REQUERIDA NAS EMPRESAS COM ATIVIDADE EM NANOTECNOLOGIA....	131
5.3 A OFERTA EDUCACIONAL: OS CURSOS DE GRADUAÇÃO COM ÊNFASE EM NANOTECNOLOGIA	142
5.3.1 Expectativas sobre o mercado de trabalho para a nanotecnologia	147
5.4 O PONTO DE VISTA DOS PESQUISADORES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL E AS NECESSIDADES EDUCACIONAIS PARA A ÁREA.....	151
5.4.1 A nanotecnologia no Brasil: opinam os especialistas.....	153
5.4.2 A necessidade de qualificação para a nanotecnologia, segundo alguns pesquisadores da área.....	157
5.5 POR UMA SÍNTESE: A QUALIFICAÇÃO PARA A NANOTECNOLOGIA.....	163

CONCLUSÕES	167
APÊNDICES	174
ANEXO I.....	182
ANEXO II.....	183
ANEXO III.....	184
ANEXO IV	186
REFERÊNCIAS.....	194

1. INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que a capacidade do olho humano foi exponencialmente ampliada a partir de diferentes tecnologias. No caso da nanotecnologia, a utilização de microscópios de força atômica permite ver e manipular a matéria numa escala tão diminuta, que a imaginação corre o risco de não acreditar na sua existência. O avanço da pesquisa científica no entendimento da matéria possibilitou o desenvolvimento dessa tecnologia permitindo a exploração de propriedades particulares que se manifestam em nanoescala¹, bem como, novos patamares de manipulação e uso de diferentes matérias primas utilizadas pela indústria. A possibilidade de manipulação da matéria na escala nanométrica e a possibilidade incrementar e/ou criar novos produtos a partir da nanotecnologia² atraem as estratégias de inovação industrial.

O desenvolvimento mundial da nanotecnologia tem suscitado o debate acerca das implicações econômicas e sociais da adoção de tal tecnologia em produtos e processos produtivos industriais. Nesse contexto se localizam as discussões sobre as necessidades educacionais para atender a incorporação da nanotecnologia pelas empresas. O objetivo geral desta tese foi investigar quais as competências demandadas aos trabalhadores como resultado da incorporação recente da nanotecnologia na indústria no Brasil. A investigação do assunto, nesta fase incipiente de uso industrial da nanotecnologia, se justifica pela importância de apreender as tendências para qualificação do trabalho em função de possíveis mudanças na base produtiva, de modo que possam ser formuladas políticas públicas que atendam aos diversos interesses presentes na sociedade.

¹ Dimensão física representada por uma unidade equivalente à bilionésima parte de um metro, sendo sua representação “nm” ou 10^{-9} (TOMA, 2004, p. 13).

² A literatura sobre o tema da nanotecnologia ora se refere a ela como no plural, indicando sua multiplicidade de aplicações em relação às propriedades das matérias, ora no singular, para se referir a tecnologia em geral que manipula a matéria na escala nano. Nesta tese adotamos o termo no singular por não se tratar da abordagem de um tipo específico de nanotecnologia e sim, no geral.

A pesquisa reveste-se de caráter exploratório³ tendo em vista as fases iniciais do uso da nanotecnologia, bem como o recente incremento dos investimentos para o desenvolvimento de área no Brasil. Dada à novidade do fenômeno, ainda não existem dados sistematizados sobre o assunto e as publicações sobre pesquisas empíricas com empresas no Brasil são praticamente inexistentes. As sucessivas tentativas de contato com as empresas para conhecer os arranjos da força de trabalho por meio de entrevistas e visitas aos processos produtivos, não foram aceitas pelas empresas. A estratégia dos questionários foi à alternativa que viabilizou o acesso aos dados⁴. Por esse motivo a coleta de dados se configurou um desafio importante nesta pesquisa, e pela mesma razão, como uma contribuição relevante da pesquisa exploratória. Em contrapartida, a escassez de dados impediu um desenho de pesquisa mais formalizado, com hipóteses delineadas. Toma-se como tendência – mesmo que não generalizada – a ampliação do uso da nanotecnologia nos setores industrial e comercial, bem como, o aumento de trabalhadores envolvidos com processos produtivos que envolvem a nanotecnologia. A partir disso se discute a necessidade ou não de (re)qualificação dos trabalhadores para o desenvolvimento da nanotecnologia na indústria.

A literatura sobre os componentes técnicos da qualificação requerida para a nanotecnologia apresenta, de maneira unânime, a noção de que se trata de uma tecnologia de base científica interdisciplinar, que exige uma formação que atenda esta especificidade. Pela conjunção de diferentes campos do conhecimento científico no entendimento da complexidade de comportamento da matéria na escala nanométrica, a utilização da tecnologia demandaria trabalhadores de diferentes especialidades interagindo para criar e fabricar produtos de base nanotecnologia. Esse caráter transversal da nanotecnologia diria respeito ao movimento de convergência entre ciências e tecnologias que se

³ "As pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, com vistas à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. [...] Pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato. Esse tipo de pesquisa é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis" (GIL, 1995, p. 44-45).

⁴ Agradecemos aos coordenadores do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia por terem apoiado a coleta de dados em seus eventos.

dedicam ao estudo das propriedades e comportamento da matéria na escala nanométrica, bem como, das diversas possibilidades de aplicação e usos comerciais de novos materiais. Entretanto, a possibilidade de escassez de força de trabalho qualificada para lidar com as atividades nanotecnológicas, segundo a literatura internacional, pode se constituir num obstáculo para esse desenvolvimento. Na perspectiva do mercado de trabalho essa mudança tecnológica poderia se tornar fator de obsolescência profissional e de transformações no emprego, tanto pela incorporação de novos produtos e materiais, quanto ao que se refere à demanda de novas qualificações técnicas. Um de nossos objetivos foi verificar se essa escassez é atualmente sentida pelas empresas pesquisadas.

A introdução da nanotecnologia nos processos produtivos abriu a discussão sobre as expectativas e se há necessidades de constituição de uma força de trabalho com características particulares. No campo da educação alguns desafios estariam colocados para alguns especialistas. Segundo Fonash (2001) um dos desafios diz respeito a atrair a atenção dos estudantes do Ensino Médio para esse campo do conhecimento, uma vez que, mundialmente o interesse geral para as áreas da 'ciência pura' tem diminuído. Outro desafio seria como ofertar programas suficientemente amplos para abarcar as áreas de conhecimento que compõem o campo da nanotecnologia. Uma terceira questão, relacionada às duas anteriores e diz respeito aos diferentes níveis de ensino, é que a constituição de tal força de trabalho não se destinaria somente a cientistas e engenheiros, mas também aos trabalhadores de nível técnico (FONASH, 2001, p. 79). Com a ampliação crescente do uso das nanotecnologias e o aumento da quantidade de força de trabalho em contato com produtos e processos que envolvem a tecnologia, o desafio é compreender se há demandas específicas de qualificação para esses trabalhadores.

Partimos do pressuposto de que há uma tendência mundial de expansão das atividades e do comércio nanotecnológico e que seu desenvolvimento utiliza força de trabalho para atuar nos setores produtivos que incorporam tal tecnologia. Desse modo, o objetivo geral da tese se desdobrou nos seguintes objetivos específicos:

- Examinar como a literatura internacional tem tratado o tema da qualificação para a nanotecnologia;
- Analisar, a partir de dados documentais, como as políticas públicas para a nanotecnologia abordam a questão da qualificação no Brasil e quais medidas vêm sendo tomadas para suprir a potencial demanda de trabalhadores para o setor;
- Identificar, a partir de dados obtidos em empresas e junto a pesquisadores, se existe demandas de qualificação advindas da introdução da nanotecnologia e de que forma as empresas têm organizado as competências de sua força de trabalho para atuar neste campo emergente;
- Identificar, a partir de dados colhidos em empresas e centros de pesquisa, o perfil educacional dos trabalhadores que já trabalham com a nanotecnologia - quanto ao nível de formação e as áreas do conhecimento - e os postos de trabalho que atualmente ocupam;
- Identificar e analisar as iniciativas educacionais e profissionais em nanotecnologia atualmente desenvolvidas no país;
- Analisar a relação entre a oferta (cursos de graduação) e a demanda (empresas) de formação da força de trabalho para nanotecnologia no seu atual estágio de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil;

Para estudar o processo de introdução da nanotecnologia na indústria nacional e as possíveis demandas de força de trabalho, procuramos questionar a realidade a partir dos objetivos específicos elencados. A triangulação de dados foi fundamental para a compreensão das múltiplas determinações que a qualificação para o setor pode sofrer. No caso, parte dessas determinações vem amplamente do sistema capitalista e internamente sua relação com o sistema produtivo nacional, as políticas públicas e o sistema de ensino. O lócus de observação não se dirigiu a um setor da indústria em específico uma vez que a nanotecnologia atravessa setores industriais e suas possibilidades de aplicação são diversas. Os dados da pesquisa empírica foram coletados por meio de 22 questionários

semiestruturados, aplicados às empresas de diversos setores industriais que já possuem atividades relacionadas à nanotecnologia ⁵. Também entrevistamos os três coordenadores de cursos de graduação com ênfase em nanotecnologia em andamento no Brasil, configurando parte da oferta educacional para a área. No caso das empresas o questionário teve por objetivo identificar a forma como elas vêm organizando a força de trabalho e as características da qualificação atualmente demandada; para os coordenadores dos cursos os questionários buscaram coletar dados que nos permitissem analisar como estão organizadas as propostas curriculares e as expectativas sobre o desenvolvimento da nanotecnologia. Além disso, a análise documental das atas das reuniões do *Fórum de Competitividade de Nanotecnologia* - coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)⁶ - complementaram a base de dados para a análise do problema proposto nesta pesquisa.

A coleta de dados empíricos orientou-se por elucidar o alcance da adoção industrial da nanotecnologia enquanto inovação tecnológica, e em que medida, isso alterou a qualificação requerida aos trabalhadores dessas empresas. Neste sentido, procuramos compreender o movimento geral de introdução da nanotecnologia no modelo produtivo capitalista e suas implicações para a formação da força de trabalho. Trata-se de um conjunto de relações que compõe a totalidade do sistema capitalista tardio sob a perspectiva de análise do materialismo histórico. Entendendo, neste sentido, que o Brasil encontra-se na condição de país capitalista periférico numa dupla perspectiva: por um lado marcado historicamente pelos modelos de produção de bens primários e posteriormente de industrialização via substituição de importações que caracterizam uma subordinação externa ao capital internacional e baixa demanda

⁵ As empresas estão divididas em dois perfis: (i) empresas que incorporam a inovação nanotecnológica ao seu processo produtivo e; (ii) empresas que fornecem insumo/solução nanotecnológica a outras empresas. A caracterização de cada uma delas está mais bem detalhada no capítulo 5 desta tese.

⁶ Durante este texto adotamos a nomenclatura mais recente: MCTI. Até 2011 a denominação era Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) sendo alterado para Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) enquanto parte da Medida Provisória 541 (FINEP, 2011). “A incorporação da palavra inovação não chega a surpreender, já que este conceito tem permeado as ações ligadas à área de ciência e tecnologia, especialmente a partir da edição da lei da Inovação (nº 10.973/2004), que trata de medidas de incentivo à pesquisa científica e tecnológica desenvolvidas no ambiente acadêmico e aplicadas às empresas; e da Lei do Bem (nº 11.196/2005) que prevê a concessão de incentivos fiscais às empresas que inovam” (FINEP, 2011).

por inovação; por outro lado, um condicionante interno vindo da produção que se caracteriza pela maximização do lucro pela produção de mercadorias por trabalhadores precariamente remunerados (DAGNINO, 2010). A baixa demanda do empresariado brasileiro por inovação e, portanto, pouco dependente da introdução de novos conhecimentos na produção para extração de lucro, foi uma das características considerada na relação entre inovação tecnológica industrial e as políticas de ciência e tecnologia. Neste sentido, seria ingênuo considerar que o incentivo das políticas de ciência e tecnologia, bem como a política industrial recente, de aumento da competitividade industrial brasileira via inovação têm aderência instantânea pelo empresariado brasileiro. Contudo, tendo em vista que essas políticas são uma realidade em nosso país na última década, entender como a nanotecnologia vem sendo adotada pela indústria e as possíveis implicações para os trabalhadores auxiliam a compreender melhor as determinações do capitalismo no Brasil.

Assim a categoria metodológica da *mediação* foi fundamental para compreender algumas das múltiplas determinações entre a parte estudada do fenômeno e sua totalidade (KOSÍK, 2002, p. 36-37). Tomando a noção de totalidade, enquanto aspectos dialeticamente relacionados da realidade que auxiliam a compreender racionalmente um fato (KOSÍK, 2002, p. 44), a preocupação central foi estabelecer conexões desse momento histórico entre a adoção de uma nova tecnologia pelo sistema produtivo e a educação para o trabalho. Ao buscar superar a aparência dos fatos e conhecer as relações contraditórias que sustentam o desenvolvimento da nanotecnologia, dois tipos de mediações foram considerados: a mediação entre processo produtivo e natureza feita pela tecnologia; e mediação entre força de trabalho e o trabalho assalariado feito pela qualificação. Os dados empíricos coletados tiveram a função de descrever as formas internas do desenvolvimento da nanotecnologia, auxiliando na compreensão das mediações necessárias para a sustentação do fenômeno. Ao descrever as formas internas que sustentam o imediato para acessar o núcleo essencial da realidade, fez-se o esforço teórico de compreender quais elementos estão incluídos-excluídos (OLIVEIRA, 2004) no processo de desenvolvimento da nanotecnologia em relação a qualificação dos trabalhadores.

Ao serem definidas as categorias metodológicas e a forma como a realidade é questionada, as categorias de conteúdo auxiliaram na compreensão das especificidades históricas do fenômeno. No caso, compreender a proposta política de desenvolvimento nacional da tecnologia, a motivação das empresas em adotar a nanotecnologia enquanto inovação tecnológica e as forma como a qualificação técnica da força de trabalho vem sendo gestado, nos auxiliaram a analisar as intenções do incentivo a introdução da nanotecnologia na base produtiva brasileira. Assim, nos valem das seguintes categorias de conteúdo na compreensão do problema proposto:

- Qualificação: trata-se de uma categoria de conteúdo de caráter mais amplo que trata de relações sociais complexas que determinam a qualificação para o trabalho (NAVILLE, 1973) em um momento histórico. Entendida, portanto, pela dupla perspectiva técnico-social que diz respeito às características demandadas da força de trabalho para fabricar um valor de uso em um processo produtivo particular e ao mesmo tempo compõe parte do valor atribuído à força de trabalho (INVERNIZZI, 1996).
- Inovação tecnológica industrial: ao explicar a dinâmica do fluxo do capital e os esforços para manter a acumulação crescente Harvey (2011) identifica potenciais barreiras para a acumulação⁷. Ao longo da história do capitalismo estratégias vêm sendo adotadas para superar ou diminuir os impactos que cada obstáculo pode trazer ao processo de circulação. Inovar tem sido uma dessas estratégias. Entende-se por inovação as modificações nos meios de produção, processos produtivos e produtos, com vistas a reduzir seus custos, ganhar eficiência e/ou alcançar novos mercados, melhorando as condições competitivas do capital. A inovação

⁷ “(i) capital inicial em forma de dinheiro insuficiente, (ii) escassez de oferta de trabalho ou dificuldades políticas com esta; (iii) meios de produção inadequados, incluindo os chamados “limites naturais”; (iv) tecnologias e formas organizacionais inadequadas; (v) resistências ou ineficiências no processo de trabalho; e (vi) falta de demanda fundamentada em dinheiro para pagar no mercado. Um bloqueio em qualquer um desses pontos interrompe a continuidade do fluxo do capital e, se prolongado, acaba produzindo uma crise de desvalorização” (HARVEY, 2011, p. 46-47).

faz parte do movimento geral de reinvestimento na produção para manutenção dos lucros e competitividade (HARVEY, 2011)⁸.

- Competência: a categoria remete a reflexão feita por Kuenzer (2002) a respeito das transformações do trabalho ocorridas a partir dos anos de 1970 com a reestruturação da produção capitalista. Houve o aumento da demanda do domínio por parte do trabalhador de conhecimentos científico-tecnológicos e de caráter sócio-histórico em decorrência da complexificação dos processos de trabalho. A inserção de novas tecnologias ao mesmo tempo em que podem gerar uma relação de supervisão, entre trabalhador e conhecimento, que está materializada nos equipamentos de trabalho, exigem do trabalhador o desenvolvimento de “(...) capacidades cognitivas complexas, em particular as relativas a todas as formas de comunicação, ao domínio de diferentes linguagens e ao desenvolvimento do raciocínio lógico-formal” (KUENZER, 2002, p.03). Trata-se da relação entre trabalhador e conhecimento em que a posse somente do conhecimento teórico ou tácito não são capazes de trazer respostas qualificadas para ação no cotidiano do trabalho. No contexto da nanotecnologia, a articulação entre conhecimentos teóricos, práticos, capacidade de comunicação e ação com base na experiência, demonstraram-se elementos importantes para compreender o conjunto amplo de demandas para a qualificação do trabalhador do setor.
- Arranjos flexíveis de competências diferenciadas: ao analisar as relações entre trabalho e educação no regime de acumulação flexível Kuenzer (2007) indica que há um aprofundamento das diferenças de classe ao manterem-se mecanismos de “(...) distribuição desigual dos conhecimentos

⁸ No Brasil, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) segue as diretrizes propostas no Manual Oslo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) para definir o que é *inovação*. Segundo o manual, a definição ampla de inovação trata da implementação de bem ou serviço novo ou com melhorias significativas, ou um processo, ou nova metodologia de marketing, ou um novo método organizacional das práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas (OECD, 2005). Conhecida como inovação tecnológica, àquelas realizadas em produtos e processos, as inovações podem apresentar melhorias e/ou novidades para a empresa sem, no entanto, ser nova para o restante do mercado. São denominadas inovações incrementais no primeiro caso, e no segundo, inovações radicais (OECD, 2005). Ainda que indique que a principal motivação de uma empresa em inovar seja a busca de lucro e competitividade, o conceito de inovação proposto no manual retira da atividade do trabalho a centralidade para o processo produtivo, para deslocar esse eixo para o conhecimento.

científicos e práticos, contribuindo para manter a alienação, tanto da produção e do consumo, quanto da cultura e do poder” (KUENZER, 2007, p. 115). A educação para a flexibilidade mesclaria em uma ponta do processo a oferta de educação precária, destinada aos trabalhadores que realizam trabalhos igualmente precarizados; em outro polo, a educação científica-tecnológica e sócia histórica, para trabalhadores que desenvolvem atividades mais intelectualizadas, em setores/atividades tecnologicamente mais desenvolvidas. A produção flexível se organiza em torno do arranjo flexível dessas competências diferenciadas, ao longo das cadeias produtivas. As combinações são definidas conforme as estratégias de seleção de tipos de trabalhadores tendo em vista a atender, de forma competitiva, às necessidades do mercado e, assim, assegurar as maiores margens de lucro possíveis (KUENZER, 2007).

Ao observar como os diferentes atores estão se relacionando para atender o desenvolvimento da nanotecnologia, procuramos identificar quais as implicações da tecnologia para a qualificação dos trabalhadores a partir das categorias de conteúdo mencionadas. Historicamente a qualificação para o trabalho tem seu conteúdo modificado à medida que novas forças produtivas são adotadas. Nos próximos capítulos exporemos os resultados da pesquisa sobre qual a qualificação demandada à força de trabalho, principalmente para aqueles que hoje trabalham com a nanotecnologia. A exploração das relações entre *trabalho-educação-tecnologia*, nesta tese, tem por principal finalidade esclarecer algumas dessas relações e apontar elementos que subsidiem novas pesquisas.

Para enfrentar as questões estruturamos a tese de forma a primeiramente no **capítulo 2** apresentar os contornos do fenômeno ao leitor, indicando do que trata a tecnologia, suas principais relações com as ciências, os investimentos e expectativas que a tecnologia tem suscitado no setor produtivo. Ainda neste capítulo apresentamos a revisão bibliográfica sobre as necessidades educacionais e profissionais para o desenvolvimento da nanotecnologia, e a forma como as empresas vêm organizando seus trabalhadores para atender as atividades já em andamento. No **capítulo 3** expomos a orientação teórico-

metodológica que guia a análise empreendida na tese. No âmbito da discussão teórica abordam-se relações entre trabalho e educação e a interface com a tecnologia na contemporaneidade. No **capítulo 4** traçamos um quadro histórico da nanotecnologia no Brasil, a partir da elaboração governamental de uma agenda de ações para o desenvolvimento da tecnologia e a identificação das capacidades nacionais para tal empreendimento. Nesse capítulo apresentamos o histórico das reuniões do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia enquanto espaço consultivo, composto por diferentes atores sociais, para a discussão sobre o desenvolvimento desta tecnologia. O histórico do Fórum foi elaborado a partir das atas públicas das reuniões realizadas de 2009-2012 e da observação participante realizada entre os anos de 2011 e 2013. As competências para trabalhar com nanotecnologia identificada no Brasil estão apontadas no **capítulo 5**, como resultado da coleta de dados com pesquisadores, empresas e universidades. Além da exposição dos dados na pesquisa empírica, articulamos os elementos identificados que sustentam o fenômeno da nanotecnologia, durante a revisão bibliográfica e documental com as principais conclusões da pesquisa.

CAPÍTULO 2. NANOTECNOLOGIA: CARACTERÍSTICAS GERAIS DO FENÔMENO E O DEBATE SOBRE AS IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS

Este capítulo tem por objetivo apresentar as características do fenômeno analisado nesta tese, em sua interface com as questões de produção do conhecimento, convergência tecnologia e os aspectos relacionados à educação – geral e profissional. Conhecer o conceito de nanotecnologia e as expectativas geradas a partir das suas possibilidades de aplicação comercial é essencial para compreender o contexto das questões problematizadas sobre os requisitos de qualificação para o trabalho com a nanotecnologia. Partimos da conceituação atualmente utilizada para denominar o que são as nanotecnologias e os nanomateriais, localizando seu desenvolvimento no movimento de convergência tecnológica, para então chegar aos debates relacionados à educação geral e profissional. O conceito da interdisciplinaridade perpassa os capítulos da tese, que na pesquisa empírica se revelou ora como estratégia de trabalho adotada pelas equipes que compõe os projetos que envolvem a nanotecnologia, ora como princípio articulador de disciplinas para organizar os conteúdos escolares que se relacionam com a tecnologia. Ao final do capítulo apresentamos os dados sobre as expectativas de composição da força de trabalho para esse campo tecnológico, bem como, a forma como atualmente estão organizados os trabalhadores que já trabalham com a nanotecnologia.

2.1 POR UMA CARACTERIZAÇÃO GERAL DA NANOTECNOLOGIA

A base científica da nanotecnologia é a Nanociência, ciência que investiga e manipula a matéria na escala nanométrica⁹ (SCHULZ, 2009, p.31). Nesse campo do estudo da matéria a noção do tamanho das estruturas se reduz quando

⁹ O nanômetro é a escala de medida na dimensão nanométrica simbolizado pela sigla **nm** e equivale à bilionésima parte de 1 metro (m). Por exemplo: $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ (0,000000001 m) ou $1\text{m}=1000000000\text{nm}$.

comparamos com a escala microscópica, tamanho habitualmente utilizado para tratar da existência de elementos que não conseguimos observar a olho nu. Trata-se de um campo do conhecimento da matéria que depende: da capacidade de imaginação para *visualizar* o que significa esta escala, de um conjunto de conhecimento que *explicam* o comportamento da matéria nesta escala, e também, de aparatos tecnológicos que permitam *observar e manipular* a matéria. As comparações auxiliam a imaginação: um nanômetro (nm) equivale aproximadamente a uma unidade 10 mil vezes menor que o diâmetro do fio de cabelo; um nanotubo de carbono, um dos nanomateriais com maior potencial de aplicações industriais, possui um diâmetro de 10nm; a molécula de DNA situa-se na escala de 100nm (TOMA, 2004, p.13) e uma folha de papel tem cerca de 100.000 nanômetros de espessura (NNI, 2011). Na figura 1 é possível observar uma comparação entre diferentes escalas de objetos e sua relação com a escala nanométrica. Por exemplo, no extremo direito da escala o desenho de um bebê na escala nanométrica equivale a 10^9 nm, que corresponde a 1 metro (m).

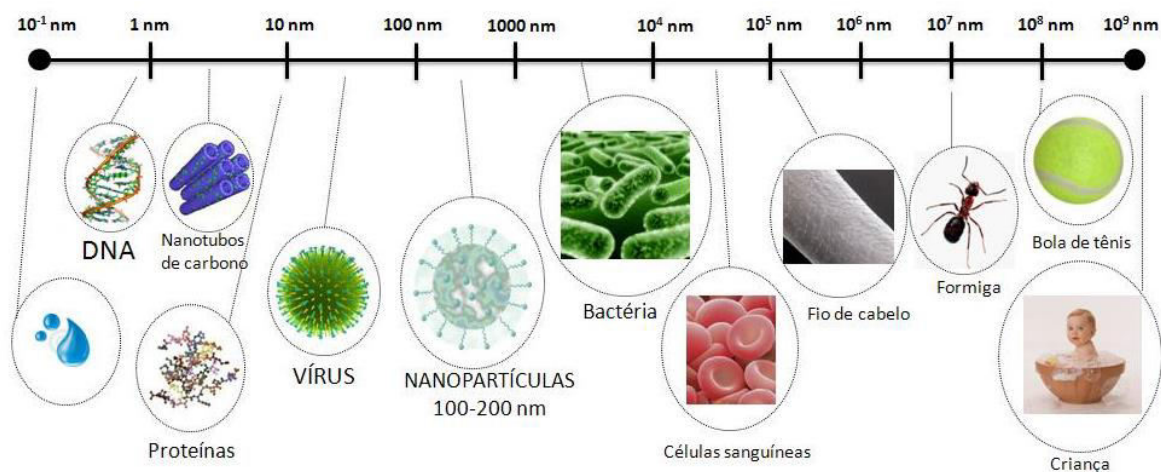


FIGURA 1. ESCALA NANOMÉTRICA.

Fonte: FELIPPI, 2012.

A questão da escala influencia diretamente o comportamento da matéria. A nanotecnologia enquanto aplicação prática dos conhecimentos produzidos no âmbito da Nanociência se relaciona com os

... fenômenos observados em diferentes classes de materiais que ocorrem quando suas geometrias possuem dimensões na ordem nanométrica (utiliza-se como limite prático para esse fim valores da ordem de 100nm ou 10⁻⁹m). Esses fenômenos são caracterizados por mudanças significativas nas suas propriedades e características de materiais em relação aos mesmos materiais em escala não-nanométrica (micro e macroscópica), levando a diversas aplicações com base em conceitos de Nanociências e Nanotecnologias e resultando em desempenhos superiores às tecnologias atuais e em rápido e crescente avanço (WAKAMATSU, 2009, p. V).

Segundo Wakamatsu (2009), esses fenômenos são designados como *efeitos de superfície*. Os efeitos de superfície podem ser observados quando há redução ou produção de um material em dimensões abaixo da microscópica e passa-se a ser observada variação em suas propriedades físico-químicas. As variações passariam a ocorrer pelo tamanho da área de superfície dos materiais e pela presença de átomos com ligações defeituosas (insatisfeitas) ou modificadas quando comparadas as relações existentes na escala macroscópica. Entre o intervalo de medida entre 0,1 a 100 nm – embora em alguns casos acima disso – as propriedades dos materiais passam a ser observadas a partir das noções da física quântica que difere em muitos aspectos da física clássica (NETO & LEONEL, 2013).

Entre as mudanças nas propriedades que podem ser observadas, destacam-se a redução da energia de ativação para a maioria dos processos físico-químicos (menores temperaturas de fusão e reação, por exemplo), variações significativas nas propriedades eletromagnéticas (isolantes térmicos passam a se comportar como semicondutores e semicondutores como isolantes), processos difusos muito rápidos e pouco dependentes da temperatura, estabilização de fases metaestáveis por meio de barreiras cinéticas e novos hábitos cristalinos, entre outras (WAKAMATSU, 2009, p. 01-02).

O modo como se organizam os aspectos físicos, químicos e a interação entre átomos e moléculas (agregado de átomos) é o que diferenciam as substâncias e elementos (SENAI/SP, 2012, p.19); um diamante e um pedaço de carvão de mesma dimensão, por exemplo, são compostos por carbono, o que os diferencia “(...) é à disposição dos átomos, o desenho de sua constituição, sua geometria e organização espacial, que modificam suas propriedades” (SENAI/SP,

2012, p.19). A Nanociência procura compreender a organização e o funcionamento da matéria na escala nanométrica levando em consideração categorias de entendimento de vários campos científicos (SENAI/SP, 2012, p.19). Os conhecimentos produzidos no campo disciplinar da Física, da Química e da Biologia (SCHULZ, 2009, p.30) passam a atuar em interação no tratamento da matéria. Trata-se de uma ciência que atua na interseção de conhecimentos e cria novas abordagens no tratamento da matéria, caracterizando-se pelo diálogo entre os departamentos de pesquisas e especializações científicas para compreender o que se passa no mundo nanométrico e suas potencialidades de utilização¹⁰. As propriedades na escala nanométrica em relação à dimensão – altura, comprimento e diâmetro – e as características físico-químicas¹¹ próprias conferem a nanotecnologia o caráter inovador nas matérias-primas para uso comercial ao mesmo tempo em que abrem o debate sobre a segurança da utilização destes novos produtos.

Em linhas gerais, a nanotecnologia se constitui enquanto aplicação prática dos conhecimentos produzidos pela Nanociência. No entanto, uma definição está em processo de construção, ainda que se tenha consenso sobre o campo dessa tecnologia. Por exemplo, nos Estados Unidos da América (EUA), a *National Nanotechnology Initiative* (NNI) considera a nanotecnologia enquanto compreensão e controle da matéria na escala nanométrica, em dimensões entre cerca de 1nm e 100 nm, em que a matéria pode apresentar propriedades próprias que permitam novas aplicações (NNI, 2012). A *National Science Foundation* (NSF), outra entidade norte-americana, enfatiza a manipulação das propriedades e fenômenos presentes na nanoescala enquanto foco da pesquisa e

¹⁰ Historicamente, a construção do microscópio de tunelamento em 1981, permitiu que os cientistas, através de uma ponta finíssima, manipulassem os átomos um a um (JOACHIM & PLÉVERT, 2009, p.08). Ao manipular a matéria átomo a átomo, abriu-se uma nova possibilidade tecnológica em relação à matéria: a alternativa de construção de estruturas átomo a átomo até que se constitua um dispositivo ou máquina em pequena dimensão, mas com a capacidade de funcionamento de um aparato grande. “Esta é uma abordagem ascendente da construção de um dispositivo, que está na contracorrente da miniaturização” (JOACHIM & PLÉVERT, 2009, p.08). Em termos de consumo de material, aparentemente a Nanociência permitiria um consumo menor dos recursos, o que lhe conferiria na origem a qualidade de uma tecnologia ambientalmente sustentável (JOACHIM & PLÉVERT, 2009, p.09).

¹¹ Por exemplo, a regulação de medicamentos e alimentos nos EUA considera os seguintes aspectos físico-químicos na avaliação de segurança de um nanomaterial: química da superfície, morfologia, solubilidade, densidade, estabilidade, porosidade, perfil granulométrico e grau de aglomeração/agregação (GUTERRES & POHLMANN, 2012).

desenvolvimento (P&D) da nanotecnologia (NSF, 2012). Na Europa, a nanotecnologia é conceituada pela *European Commission* enquanto estudo dos fenômenos da matéria na escala atômica, molecular e macromolecular em que as propriedades diferem significativamente de uma escala maior (EUROPEAN COMMISSION, 2012). Para o Brasil, na ocasião da elaboração do primeiro programa de desenvolvimento da Nanotecnologia e Nanociência no Brasil em 2003, a nanotecnologia foi definida enquanto nova possibilidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação propiciados por propriedades especiais da matéria na dimensão nanométrica (MCTI, 2003).

Um dos pontos divergentes diz respeito a sua definição, pois se trata de um problema singular; definir uma ciência/tecnologia através da dimensão. A definição da nanotecnologia ainda está sujeita a algumas confusões e polêmicas. Existem nanomateriais e nanopartículas na natureza no tamanho nanométrico, e existem outros nanomateriais e nanopartículas que ocorrem como subprodutos de processos industriais ou de combustão. O que já é consenso é que o tamanho é essencial em qualquer das definições da nanotecnologia, dentre as muitas que estão em circulação. Algumas das diferenças apresentadas em relação às definições de nanotecnologia são de interesse apenas acadêmico, mas a forma como a nanotecnologia é definida em um contexto normativo pode fazer uma diferença significativa sobre esta matéria (GANDARA & NUNES, 2012, p. 10).

As variações nas definições de nanotecnologia se tornam problemáticas quando se trata de atingir uma definição consensual com finalidades regulatórias, quanto aos parâmetros de tamanhos e propriedades na definição do que seria rotulado como produto nanotecnológico. Múltiplos interesses estão em jogo pela regulamentação do quê seria considerado nanomaterial. Por exemplo, os interesses econômicos da exploração dos potenciais inovadores da tecnologia; os interesses sociais relacionados à segurança da utilização dos nanomateriais quando em contato com o ser humano e o ambiente; ou, ainda, os interesses científicos de ampliação do conhecimento da matéria. A reguladora americana para medicamentos e alimentos, *Food and Drug Administration*, adota a concepção de *material engenheirado* para distinguir os produtos “(...) que foram projetados para conter materiais em nanoescala, ou que envolvem a aplicação da

nanotecnologia, daqueles que contêm níveis de nanomateriais de ocorrência incidental ou natural” (GUTERRES & POHLMANN, 2012)¹².

A *European Commission* emitiu um comunicado em 2012, que recomenda à comunidade europeia, a seguinte definição de nanomateriais:

(...) **um material natural, incidental ou fabricado**, que contém partículas em um estado desagregado ou na forma de agregado ou aglomerado, e em cuja distribuição número-tamanho 50% ou mais das partículas têm uma ou mais dimensões externas que se situem em tamanhos compreendidos entre 1nm e 100nm. Em casos específicos e sempre que tal se justifique devido a preocupações ambientais e ligadas à saúde, à segurança e à competitividade, o limiar da distribuição número-tamanho de 50% pode ser substituído por um limiar compreendido entre 1% e 50% (European Commission, 2012, p. 2. Grifo nosso.)¹³.

Elaborada pela *International Organization for Standardization* (ISO), a ISO/TC 229 é adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

¹² Atualmente, são dois métodos possíveis de produção de nanomateriais: (...) podem ser produzidos, de forma deliberada, por certos processos químicos ou físicos (produção bottom-up), criando materiais com propriedades que não aparecem em sua macroescala (bulk). Os nanomateriais podem também ser produzidos através de processos de manufatura, tais como moagem ou trituração (produção top-down), gerando partículas de tamanho nano que podem, ou não, ter propriedades diferentes daquelas dos materiais bulk que lhes deram origem. De modo geral, admitem-se como nanomateriais, aqueles materiais que foram produzidos por processos sintéticos ou de manufatura, ou seja: foram “intencionalmente produzidos” (ABDI, 2011a, p.9).

¹³ Agradecemos ao colega de grupo de pesquisa, Elias Marcos Gonçalves dos Santos, físico e advogado, pela tradução do texto citado e a explicação que segue sobre a definição da Comissão Europeia: “Em suma, pelo que eu entendi, a recomendação adota uma concepção que pode ser **denominada estatística**. Portanto, imaginemos um material qualquer, por exemplo, uma esfera sólida fabricada. Para ela ser considerada como nanomaterial, metade de suas partículas precisa ter pelo menos uma das dimensões (altura, comprimento, diâmetro) entre 1nm e 100nm. É uma analogia, mas basta pensar em uma esfera sólida de vidro, mas não um vidro qualquer, aquele vidro de carro que quebra em pedaços que ficam parecendo um monte de cacos de vidro em cubinhos. Pois bem, nesse caso, os cacos têm aparentemente o mesmo formato. Contudo, na prática esses pedaços podem variar. A informação que se extrairia disso é que a composição dessa esfera de vidro não é homogênea e por isso os cacos têm dimensões diferentes. No caso da esfera sólida para ela ser considerada como nanomaterial, é preciso “observar” a totalidade dos seus “pedaços” componentes. Para isso, nós poderíamos “quebrar” a esfera em sua estrutura estável mínima – como os cacos de vidro do exemplo acima. Os diversos pedaços resultantes teriam três dimensões e pelo menos uma das dimensões de pelo menos metade dos cacos resultante precisaria estar compreendida entre 1nm e 100 nm para a esfera ser um nanomaterial. Ou seja, temos duas divisões e por isso a menção “número-tamanho”. O número é a metade das partículas. O tamanho é a questão das três dimensões, no caso pelo menos uma precisa estar entre 1nm e 100nm. Para finalizar, e mantendo o mesmo exemplo da esfera, eles dizem que é possível reduzir esse critério de metade dos cacos de vidro para algo entre 1% até 50% dos cacos de vidro. Ou seja, dependendo de critérios, por exemplo, de saúde, um material que tenha entre 1% até 50% das suas partículas em dimensões entre 1nm e 100nm poderia ser considerado como nanomaterial”. (Comunicado pessoal, 2012).

como sugestão de definição da nanotecnologia no caso brasileiro. A ISO/TC 229 define a nanotecnologia enquanto

(...) compreensão e controle da matéria e processos em escala nanométrica, tipicamente, mas não exclusivamente, abaixo dos 100nm, em uma ou mais dimensões onde o surgimento de fenômenos dependentes do tamanho usualmente propicia novas aplicações; utilização das propriedades da matéria em escala nanométrica que diferem das propriedades dos átomos individuais, moléculas e matéria para criar melhores materiais, dispositivos e sistemas que explorem novas propriedades (ABNT, 2010).

A definição das características regulares dos produtos da nanotecnologia ainda está em processo de discussão, em busca de equilíbrio possível entre os avanços científicos, os interesses da indústria na aplicação comercial e as questões de saúde e segurança na difusão destes materiais no ambiente. Muitos setores produtivos já se utilizam das propriedades da escala nanométrica para incrementar seus produtos oferecendo, por exemplo, pinturas mais resistentes ou autolimpantes no setor automotivo, materiais esportivos mais leves e resistentes, roupas e tecidos bactericidas e antitranspirantes, embalagens inteligentes (sensíveis aos gases que decompõem os alimentos), atuação mais eficaz de fármacos pela atuação *drug-delivery*¹⁴ com sensores e autodosadores, melhoramento da performance de chips e processadores no setor eletrônico, etc. (ABDI, 2010, p. 27-28). Os parâmetros de controle dos produtos e utilização da nanotecnologia serão resultado de uma discussão *post factum*, uma vez que no mercado já se encontra uma ampla gama de produtos que contém modificações ou inovações a partir dessa tecnologia¹⁵.

Apesar do crescimento das aplicações industriais, a regulamentação de uma escala segura de manipulação e consumo da matéria na escala nanométrica não possui um protocolo internacional quanto aos riscos e regulamentação do uso da tecnologia. Em estudo recente a Agência Brasileira de Desenvolvimento

¹⁴ Ou seja, "(...) são capazes de carregar medicamentos e liberar fármacos no organismo humano de forma controlada" (NOVO, 2013, p. 18).

¹⁵ Segundo o pesquisador e membro consultivo para a nanotecnologia do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Oswaldo Luiz Alves, não há produtos totalmente nanotecnológicos, e sim, a Nanotecnologia embarcada em diferentes quantidades, em diversas famílias de produtos (SENAI/SP, 2012, p.66).

Industrial (ABDI, 2011) faz um apanhado das publicações mundiais sobre os riscos e implicações do uso de nanotecnologias, indicando que em termos de propriedade intelectual, os EUA têm considerado por meio do documento *Cross-Reference Digest for Nanotechnology - Class 977*, o tamanho de 1-100 nm enquanto classificação para a nanotecnologia; escala também aceita por organizações europeias (ABDI, 2011, p. 10-11).

Adicionalmente, pesquisadores americanos da Universidade de Duke, indicam que a definição entre 1-100nm não é suficientemente específica, havendo a necessidade de observar o comportamento em escala menor de 30nm, e que uma definição mais precisa passa pela identificação com base nas propriedades das nanopartículas e a propensão de representar riscos ao meio ambiente e a saúde humana (ABDI, 2011, p. 11). A literatura sobre segurança no uso da nanotecnologia é ainda contraditória, não somente em relação ao tamanho das partículas, mas também quanto à morfologia, aos métodos de preparação, a pureza e aos protocolos de testes. Ainda que se conheçam algumas das nanopartículas que estão sendo utilizadas comercialmente, pouco se sabe sobre a toxicidade para a saúde humana e meio ambiente (ABDI, 2011, p. 17-18).

Para Joachim e Plévert (2009) esse processo faz parte de operações políticas¹⁶ que transformaram a esperança de uma indústria mais econômica em relação aos recursos naturais, em uma tecnologia repleta de questionamentos quanto sua toxicidade e controle. A preocupação com a toxicidade, controle e segurança na produção e consumo das nanopartículas se relacionam com sua capacidade potencial de ultrapassar as barreiras biológicas do corpo humano (atingir alvéolos mais profundos dos pulmões, chegar ao cérebro ou ao coração) e ainda circular na corrente sanguínea. Um dos primeiros relatos sobre acidente de trabalho envolvendo processos que utilizam a nanotecnologia foi do adoecimento, pela exposição prolongada às nanopartículas utilizadas em tintas, de sete trabalhadoras chinesas com danos permanentes no pulmão e a morte de duas

¹⁶ Um histórico do desenvolvimento das nanociências e da Nanotecnologia nos EUA foi feito pelos autores Joachim e Plévert (2009) em que os aspectos políticos e econômicos são analisados concomitantemente ao desenvolvimento científico da tecnologia. Em meados dos anos 1990 surge, pela pressão no Congresso de grupos do *lobby* industrial, o programa nacional dos EUA para a nanotecnologia que desloca a questão da esfera da pesquisa científica para tornar-se um conceito mais elástico com caráter de aplicação comercial.

delas. As sete mulheres acometidas pelos danos, trabalharam em períodos de 5 a 13 meses, fazendo o jateamento de tinta em placas. Após esse período, as trabalhadoras passaram a sentir dificuldades para respirar e apresentavam marcas vermelhas no rosto e braços (ECODEBATE, 2009). Portanto, as questões de segurança não dizem respeito somente ao consumo, mas também, a exposição dos trabalhadores que pesquisam, desenvolvem e utilizam materiais nanotecnológicos e estão expostos a riscos de suas atividades. Promessas e dúvidas alimentam a produção de nanomateriais, uma vez que o esgotamento das questões de segurança parece estar longe de um protocolo seguro, que oriente a produção, consumo e descarte destes materiais¹⁷.

2.2 A CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA E A INTERDISCIPLINARIDADE

Elencar alguns elementos que compõem o movimento de desenvolvimento da nanotecnologia e sua adoção como promessa de revolução tecnológica, auxilia no esmiuçar das múltiplas relações que se estabelecem entre produção do conhecimento e inovação comercial. Dentre esses elementos que entrelaçam produção do conhecimento e inovação, a concepção de desenvolvimento científico e tecnológico via *convergência tecnológica* vem ganhando visibilidade enquanto estratégia de avanço do domínio cognitivo e técnico sobre as condições sociais e naturais. O objetivo da convergência seria combinar esforços entre diferentes campos científicos e tecnológicos, criando uma força sinérgica para resolver alguma problemática elencada como comum aos campos (NFS, 2001;; BAINBRIDGE & ROCO, 2006; CAVALHEIRO, 2007; CGEE, 2008).

Em 2001, no simpósio “*Converging Technologies for Improving Human Performance*” a convergência tecnológica foi tratada enquanto combinação sinérgica de quatro campos em ascensão da ciência e da tecnologia: a Nanociência e a Nanotecnologia, a Biomedicina e a Biotecnologia - incluindo a Engenharia Genética, Tecnologia da informação e Ciência Cognitiva

¹⁷ Para um aprofundamento das discussões sobre questões éticas e ambientais da nanotecnologia, os sites do *ETC Group* e do *Renanossoma* são fontes interessantes de consultas.

(BAINBRIDGE & ROCO, 2006, p.282)¹⁸. O modelo de convergência entre ciência e tecnologia representaria uma visão otimista de *renascimento* que, ao combinar métodos e resultados de investigação de diferentes campos, poderiam levar a novos patamares de conhecimento científico e progresso social (BAINBRIDGE & ROCO, 2006). A proposta é que ao associar as potencialidades que cada campo produz individualmente, as modificações na sociedade e no meio ambiente podem ser mais expressivas que quando exploradas separadamente (CAVALHEIRO, 2007, p 24). A novidade nesse movimento de “renascimento científico e tecnológico”, para o caso da nanotecnologia, reside no fato de haver novos conhecimentos em relação à matéria e nas possibilidades de manipulação/interação de sistemas vivos e artificiais.

Na Europa em 2004, a *High Level Expert Group*, apontou a convergência enquanto conjunto de conhecimentos e tecnologias que se associam em busca de um objetivo comum (CAVALHEIRO, 2007). As instituições inglesas, *The Royal Society* e *The Royal Academy of Engineering*, denominaram enquanto convergência as múltiplas formas em que as tecnologias se combinam e refletem uma natureza interdisciplinar entre os campos de conhecimento (CAVALHEIRO, 2007). O *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* da Espanha (2006) referiram-se às tecnologias convergentes como sendo o campo de estudo interdisciplinar das interações entre sistemas vivos e artificiais para elaboração de novos dispositivos que expandam ou melhore as capacidades cognitivas, comunicativas, da saúde, das capacidades físicas (CAVALHEIRO, 2007). No Brasil, semelhante às interpretações internacionais, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) analisa o tema enquanto integração pela sinergia de conhecimentos e tecnologias já existentes que possibilitam, não só a geração de novos conhecimentos, mas também a produção de bens e serviços, que não seriam possíveis de desenvolvimento por cada área isoladamente (CGEE, 2008, p. 2).

Em foco estaria, portanto, uma base de conhecimento e aplicações de saberes de diferentes campos que se comunicam para atingir um objetivo comum. Notamos alguns pontos em comuns entre as abordagens sobre o movimento da

¹⁸ Comumente o grupo é identificado pela sigla NBIC.

convergência tecnológica: a natureza interdisciplinar da interação entre os campos de conhecimento e a construção de projetos orientados pela aplicabilidade. De um lado há disponível um conjunto de massa crítica produzido por cada campo científico em particular que avança em direção a uma maior compreensão do mundo e que possibilita neste momento histórico, que os conhecimentos interajam para alcançar novos patamares de conhecimento. Por outro lado, uma tendência na produção do conhecimento orientada para a resolução de um problema, posto desde o início se orienta para a aplicação do conhecimento. Imaginar que esse movimento é totalmente novo seria o mesmo que imaginar que a produção do conhecimento científico em algum momento se deu de maneira neutra, independente de interesses, e que atualmente, presencia-se uma mudança no comportamento dos cientistas e dos interesses que permeiam a academia. Podemos perceber, contudo, que a disposição dos pesquisadores para interagir com diferentes campos do conhecimento e a organização desses conhecimentos em torno de uma parceria temporária para solucionar uma problemática, vem sendo uma estratégia de articulação e produção de ciência e tecnologia na contemporaneidade.

Parece haver um aumento na disposição em se estabelecer comunicações e parcerias entre alguns campos disciplinares. A produção do conhecimento de maneira disciplinar, com uma epistemologia e objeto peculiar, continua sendo a forma predominante de organização do conhecimento, principalmente na universidade. Ainda não se construiu um método científico que tenha substituído o paradigma de produção do conhecimento pela via disciplinar, ou seja, dentro das fronteiras de um campo científico específico. O que se percebe é um aumento da proposta de trabalho em conjunto de diferentes áreas do conhecimento com vistas à satisfação de um objetivo comum. Não se constroem novas disciplinas, diluindo as fronteiras disciplinares em direção a construção de um novo método e objeto, uma postura transdisciplinar, mas sim, um *princípio orientador* da produção do conhecimento para a pesquisa (BIANCHETTI & JANTSCH, 2011, p. 29). Entendemos que esse princípio norteador é a interdisciplinaridade. Não se trata de reduzir os diferentes campos do conhecimento a um denominador comum, mas de um princípio mediador entre diferentes disciplinas que buscam

explorar as potencialidades de *cada ciência* por meio da diversidade e da criatividade (ETGES, 2011)¹⁹. As ciências se associam conforme o direcionamento da pesquisa, multiplicando os esforços que possam alimentar o interesse comum de desenvolvimento de uma problemática, mas, há pouca menção sobre a inclusão de opiniões divergentes ou interesses antagônicos.

No caso da nanotecnologia, a questão da interdisciplinaridade aparece como fator relevante para compreender como os diferentes conjuntos de conhecimento afins têm entrado em interação com o objetivo de conhecer e manipular a matéria na escala nanométrica. Como mencionamos anteriormente, algumas propriedades da matéria na escala nanométrica se alteram em relação às demais escalas. A interação entre diferentes campos científicos busca compreender com mais exatidão o que se passa com as propriedades da matéria na escala nanométrica e maximizar os esforços individuais. A convergência tecnológica e científica, na nanotecnologia, se dá tanto pela interface de diferentes campos da ciência que atuam em conjunto na compreensão das propriedades na escala nano e suas possíveis utilidades, quanto pela aproximação da fronteira de oportunidades de interações entre os setores industriais (ABDI, 2010, p. 24-25). A figura 2 exemplifica algumas dessas possibilidades de comunicação entre as áreas, os campos de conhecimento de cada uma delas e os resultados em forma de produtos.

¹⁹ O debate sobre interdisciplinaridade e transdisciplinaridade retomam as discussões dos modelos de produção do conhecimento. Algumas das nuances da discussão estão reunidas no livro *Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito*, organizado por Ari Paulo Janstsche e Lucídio Bianchetti, publicado pela editora Vozes em 2011.

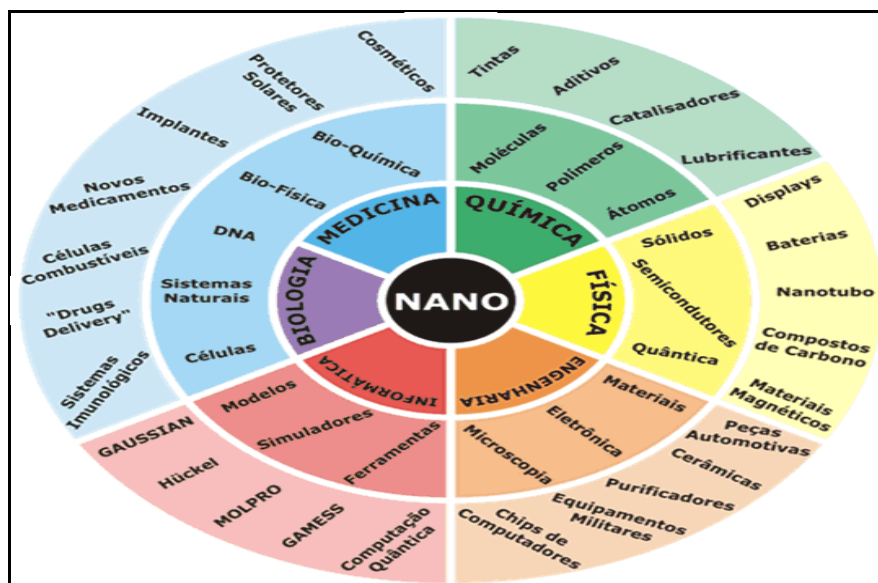


FIGURA 2: MANDALA - UMA VISÃO DA NANOTECNOLOGIA

Fonte: PUC-RJ, Engenharia em Nanotecnologia (2011).

Observando a figura podemos entender que, do ponto de vista da convergência, a nanotecnologia trata da interação entre campos de conhecimento, diferentes tecnologias para a aplicação em produtos e processos. Entendemos que a interdisciplinaridade na nanotecnologia, nesse caso, diz respeito à contribuição de diferentes campos do conhecimento para a resolução de uma problemática, sem que se diluam seus métodos, objetos e autonomia próprios (FOLLARI, 2001; KUENZER, 2009, p. 86). Os fatores que levam diferentes ciências e tecnologias a entrarem em interação para a construção de respostas a uma problemática comum, certamente guardam relações com as determinações mais amplas que os constructos ciência-tecnologia estão inseridos. Relacionadas à materialidade do momento histórico contemporâneo, as relações que se estabelecem entre demanda e produção de conhecimento científico no caso da nanotecnologia podem indicar alguns destes fatores que levam a interação.

Porter & Youtie (2009) se propuseram a testar se a nanotecnologia faz efetivamente parte do movimento de convergência tecnológica. Buscando compreender como se dá a interdisciplinaridade nessa tecnologia, os autores categorizaram artigos e publicações científicas entre os anos de 1991-2008 por meio da sobreposição de suas referências em campos temáticos. Suas

conclusões indicam que naquele momento, a nanotecnologia seria uma coleção de campos disciplinares que integram conhecimentos de diversas maneiras, mas que não se poder afirmar que eram realmente convergentes. Os autores sugerem que o desenvolvimento da Nanociência e da nanotecnologia dependeria da localização, por parte dos pesquisadores, de outras pesquisas que estejam sendo realizadas. Os autores destacam que alguns obstáculos disciplinares colocam duas grandes dificuldades em relação ao desenvolvimento da nanotecnologia: a localização de pesquisas em outras áreas e o entendimento das pesquisas em diferentes áreas do campo de especialidade do pesquisador. Como estratégia para superar esses obstáculos, os autores sugerem que uma ação interdisciplinar depende da ação com a linguagem utilizada, a fim de facilitar a compreensão de pesquisadores que não sejam da mesma área de conhecimento e ainda, melhorar a capacidade de localização de pesquisas relevantes sobre o mesmo tema através de ferramentas de busca que permitam identificar pesquisas fora do campo imediato de observação de uma especialidade (PORTER & YOUTIE, 2009).

Considerando que não há uma ciência desinteressada, ou seja, que a produção do conhecimento tem intrinsicamente orientações políticas, econômicas, culturais e sociais que influenciam tanto a forma e o quanto é construído, a questão da intencionalidade complementa a discussão sobre a convergência e a interdisciplinaridade. Identificar os interesses que possuem maior relevância na construção do conhecimento é um elemento importante no entendimento das relações que sustentam o desenvolvimento da nanotecnologia. Para a nanotecnologia, a demanda por inovação na utilização dos materiais hoje disponíveis e as possibilidades que se abrem com a “descoberta” de novas propriedades em decorrência da escala nanométrica, parece ser um elemento importante para compreender os fatores que levam ao seu desenvolvimento. Ainda que as potencialidades sociais, principalmente na área da saúde, tenham sido apontadas como uma das revoluções que a nanotecnologia pode trazer para a sociedade contemporânea, não parece ser este o principal interesse que impulsiona as atividades de pesquisa e desenvolvimento.

No Brasil, a atual política de desenvolvimento industrial destaca o incentivo do desenvolvimento das tecnologias emergentes, enquanto elemento importante para o aumento da capacidade e da complexidade industrial do país. O incentivo a inovação, como fator concorrencial, aparece como principal fonte geradora de demanda para o desenvolvimento da nanotecnologia. Somado a política industrial, a agenda governamental para a ciência e a tecnologia também tem priorizado um viés mais pragmático para o incentivo da produção do conhecimento. Um dos momentos recentes dessa orientação é o deslocamento da centralidade da pós-graduação na formação de docentes para maior valorização dos programas com produção em pesquisa (KUENZER & MORAES, 2005). Mais recentemente, a proposta de mudança de gestão do Ensino Superior para o MCTI traz indícios que o estímulo à produção do conhecimento ter por prioridade o desenvolvimento competitivo da economia com base na produção científica e tecnológica²⁰.

A competitividade das empresas é associada diretamente, nessas políticas, ao desenvolvimento econômico e social, crescendo a proposta de aproximação entre universidades e empresas como forma de alimentar o ciclo virtuoso conhecimento-competitividade-desenvolvimento (DAGNINO, 2003). A questão central a ser discutida não é apontarmos que apenas um interesse está gerando demanda à produção do conhecimento, mas sim, que um tipo de interesse tem prioridade sobre demais. O avanço possibilitado pela combinação de algumas áreas do conhecimento e tecnologias para a melhoria da qualidade de vida disponível é um elemento discursivo associado ao processo de convergência tecnológica. O predomínio do interesse comercial no desenvolvimento de pesquisas e inovações no campo da nanotecnologia indica, ao menos neste momento histórico, que de modo predominante, às relações sociais que se estabelecem para o seu desenvolvimento têm centralidade no impulso pela inovação com vistas ao incremento econômico. A capacidade de ofertar novas funcionalidades como maior durabilidade, maior eficácia e eficiência na finalidade do produto, desperta o interesse comercial por conta das possibilidades de

²⁰ O projeto de lei que sugere a mudança de gestão do ensino superior para o MCTI é a PLS 518/2009, de autoria do senador Cristovam Buarque, e encontra-se em tramitação. A proposta é transformar o Ministério da Educação em Ministério da Educação de Base.

inovação e acréscimo do diferencial concorrencial. As dimensões da interdisciplinaridade, da convergência e da inovação, no processo de desenvolvimento da nanotecnologia, dão indicativos que a articulação entre ciência e tecnologia é fortemente permeada pelo interesse econômico.

As implicações de haver maior relevância de um determinado interesse abre espaço, por exemplo, para justificar a comercialização de produtos com nanotecnologia mesmo que não se conheçam os efeitos dos nanomateriais para o ser humano e para o meio ambiente. Meios justificando fins, colocam em escala hierárquica as implicações, no momento em que se adotam estratégias de desenvolvimento de uma tecnologia. Nessa escala, as implicações para o emprego e a qualificação dos trabalhadores são discutidas pelo prisma da escassez de mão de obra e do obstáculo para o desenvolvimento da nanotecnologia. No próximo item discutimos a relação do processo de desenvolvimento da nanotecnologia e os requisitos educacionais e profissionais para conhecer e trabalhar com esta tecnologia.

2.3 IMPLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA E DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA PARA A EDUCAÇÃO

Pela literatura especializada (TOMA, 2004), a produção e aplicação do conhecimento na nanotecnologia se caracterizam pela adoção do princípio articulador da interdisciplinaridade. A postura interdisciplinar orientaria os projetos pela articulação entre diferentes campos do conhecimento para a solução de uma problemática, com vistas a desenvolver inovação em produtos e processos. Esse movimento, conforme visto anteriormente, denomina-se convergência tecnológica. As possibilidades abertas pelas tecnologias de microscopia e manipulação da matéria na escala nanométrica, levantaram o debate sobre a necessidade de atualização dos currículos escolares e ampliação de informações para estudantes, trabalhadores e sociedade geral.

Do ensino formal, espera-se a inclusão nos currículos escolares dos diversos tipos conhecimentos e as novidades científicas, das quais a

nanotecnologia faz parte. A atualização dos currículos proporciona aos alunos o conhecimento sobre os caminhos percorridos pelo desenvolvimento científico e das escolhas tecnológicas realizadas pela sociedade. Para os alunos, futuros trabalhadores, a posse do conhecimento tecnológico significa compreender as bases técnicas que se assentam os atuais processos produtivos, bem como, conhecer as possíveis implicações da adoção de determinadas tecnologias para o ambiente de trabalho. No âmbito da qualificação técnica, para o trabalho com a nanotecnologia, ainda não estão precisamente definidas as necessidades vindas do processo produtivo, mas, algumas questões parecem importantes para o domínio teórico dos aspectos gerais relacionados à nanotecnologia.

Um primeiro ponto das discussões sobre nanotecnologia e educação diz respeito à interdisciplinaridade. Enquanto orientação metodológica da pesquisa e produção da nanotecnologia, a integração de diferentes campos do conhecimento e por consequência de diferentes formações profissionais seria uma necessidade colocada pelos projetos de nanotecnologia. Essa necessidade parece sofrer múltiplas determinações. Por um lado, as variações nas propriedades físico químicas dos materiais em nanoescala e o direcionamento para a aplicabilidade, demandam a integração de diferentes especialidades para atingir uma determinada finalidade. Por exemplo, para produção de um medicamento com propriedades nanotecnológicas necessita, além dos pesquisadores das ciências-base, de profissionais da farmácia e/ou medicina para fazer a integração do que se pretende com o produto e sua efetividade no corpo humano.

No entanto, como capacitar os profissionais para esta ação de integração é ponto passível de discussão. No nível do ensino superior, as abordagens oscilam entre uma formação especialista disciplinar, com aprofundamento curricular em uma área do conhecimento, complementada por disciplinas que tratem das propriedades da matéria na escala nanométrica; e outra, mais generalista, com currículo organizado em disciplinas de diversos campos do conhecimento para entender os diferentes aspectos relacionados à nanotecnologia. Autores defensores da abordagem especialista destacam, além da formação aprofundada em alguma área científica, o desenvolvimento da capacidade de trânsito por outras áreas envolvidas com a nanotecnologia (BATTERSON *et al.*, 2003; ROCO,

2003). Já aqueles que consideram a formação generalista como mais adequada, consideram necessária a formação simultânea nas várias disciplinas que compõem o campo da nanotecnologia, sem especialização específica, pela própria característica interdisciplinar da nanotecnologia (FONASH, 2001; WHITESIDES, 2003).

O que seria uma terceira abordagem, que se relaciona mais aos aspectos epistemológicos, argumenta que a educação se depara com uma mudança de paradigma na própria forma de fazer ciência, resultante do movimento de convergência tecnológica. Isso exigiria um enfoque educacional interdisciplinar capaz de articular as diversas linguagens científicas, transcendendo a atual divisão entre as disciplinas. Atualmente não seria mais aceitável desenvolver ciência e tecnologia, sem atender às implicações éticas e sociais (WHITESIDES, 2003), bem como, a separação entre as ciências físicas - naturais e as ciências sociais e as humanidades deveria ser superada (SING, 2007; LAKHTAKIA, 2006).

Das abordagens acima, algumas questões podem ser problematizadas. Ao mesmo tempo em que a convergência tecnológica alarga as possibilidades de contato e cooperação entre as áreas do conhecimento, as dificuldades para sair do campo disciplinar tornam-se elementos importantes no sucesso em atingir os objetivos de um projeto. Concordamos com Wakamatsu (2009) que a prática interdisciplinar enquanto orientação de pesquisa possui algumas etapas de “desvencilhamento” disciplinar para que ocorra a integração de diferentes conhecimentos, com vistas à resolução de um problema comum. A maior parte dos pesquisadores, forjados nos modelos universitários atuais, possuem formação em *uma* área do conhecimento. As falhas na comunicação, pelo não entendimento de diferentes terminologias e formas de linguagens, podem se tornar obstáculos relevantes no processo de integração de diferentes campos do conhecimento. A necessidade de uma compreensão prévia das linguagens de outras áreas científicas e tecnológicas, parece se colocar como competência fundamental para a cooperação apropriada entre os pesquisadores. Além disso, há a prerrogativa de um conhecimento mínimo de cada disciplina que compõe um determinado projeto. Se por um lado uma linguagem inteligível entre os pesquisadores torna-se essencial para a pesquisa interdisciplinar, por outro, a

resistência disciplinar aos diferentes métodos de investigação se coloca como risco ao projeto. A presença de diferentes métodos de investigação em um projeto de pesquisa pode gerar conflito e oposição. Ao grupo de pesquisa interdisciplinar demandam-se abertura para novas possibilidades de interpretação dos fenômenos e o consenso possível sobre as melhores alternativas para atingir os objetivos da pesquisa (WAKAMATSU, 2009, p. 27-28).

De modo geral, as instituições de ensino e pesquisa possuem uma orientação disciplinar na organização de seus quadros e ordenamento de curso. Sendo a maioria dos investigadores formados na lógica disciplinar, o incentivo a valorização de diferentes métodos e perspectivas teóricas, parecem ser elementos essenciais para a interdisciplinaridade, no âmbito da pesquisa e desenvolvimento. Um projeto de pesquisa correria o risco de falhar em seu objetivo, caso os membros desse projeto permaneçam no *lugar-disciplinar* sem deslocamento do olhar investigativo.

Mas se os desafios estão postos nas instâncias em que o conhecimento é comumente produzido e reproduzido, como ficaria o processo interdisciplinar quando deslocado para os diferentes níveis educacionais? Como articular as disciplinas nos currículos para que se ampliem as perspectivas investigativas e objetos de pesquisa como a nanotecnologia, se tornem legíveis para seus alunos? São alguns dos dilemas que a introdução da nanotecnologia, no contexto educacional e no mercado de trabalho, traz para os processos de ensino e aprendizagem. A formação educacional para a nanotecnologia encontra-se em estado de consenso precário. Há divergências quanto à forma de traduzir os requisitos de conhecimento da convergência científico-tecnológica para o sistema de ensino e nas estruturas curriculares; e embora haja certa concordância dos impactos sobre os conteúdos escolares, não está claro quando e como trabalhar com as mudanças.

A revisão da literatura internacional aponta que há muitas incertezas sobre quais os caminhos a serem tomados para inserir os novos alunos no universo da convergência tecnológica e ainda, novos paradigmas de interpretação das ciências. Para alguns as modificações no sistema de ensino devem começar nos anos iniciais da vida escolar (CANTON: 2002; FEATHER & COCKERILL; 2005) e outros a partir do Ensino Médio (LAKHTAKIA: 2006; MACNEIL *et al.*:2007). Para

Roco (2003), a educação deve mudar desde as primeiras séries até a educação continuada, colocando os alunos em contato com os conceitos da nanotecnologia. A preparação, tanto dos cidadãos quanto dos trabalhadores do futuro, teria força na associação entre educação formal e educação científica não formal. No caso da educação não formal, seu início se daria ainda nas idades mais precoces, por volta dos cinco anos, com o despertar do interesse pelos temas das ciências, engenharias e matemática, indo até a informação disponível nos locais de trabalho (ROCO *et al.*, 2010, p. 468).

Para a educação escolar um dos desafios diz respeito à diminuição do interesse dos estudantes pelas carreiras científicas. Muitos países têm enfrentado problemas com o ensino e o interesse dos alunos pelas ciências como a Química, a Física e a Matemática (TEDESCO, 2009). As explicações do fenômeno seriam diversas: não haveria um estímulo à continuidade dos estudos após os níveis fundamentais²¹; os conteúdos das disciplinas parecem difíceis para os alunos; há pouca relação estabelecida entre a teoria e os problemas do cotidiano; a imagem da ciência relacionada ao bem-estar e progresso também estão associadas a muitos desastres ambientais e desintegrada dos interesses sociais; a carreira científica não dá garantia da conquista de um emprego (TEDESCO, 2009, p.13). A diminuição do interesse dos alunos pelas carreiras científicas e subordinação tecnológica de alguns países, são questões a serem enfrentadas em um contexto de maior complexidade da relação ciência e tecnologia. Não há dúvidas que vivemos em uma sociedade cada vez mais mediada pela ciência e pela tecnologia. Compreender esses elementos não se torna somente um imperativo para participar as decisões relacionadas ao controle/ desfrute / exclusão do acesso as diferentes tecnologias, mas também, da possibilidade dos diferentes indivíduos atuarem como especialistas (GORDILLO, 2009, p. 5).

Estaríamos vivendo um dilema social em relação ao ensino das ciências: de um lado uma sociedade que cada vez mais faz uso intensivo da informação e do conhecimento, e por outro lado, há uma significativa diminuição de estudantes interessados a dedicar-se a investigação científica. No Brasil o desinteresse pelas carreiras científicas atrela-se a outros dois dados preocupantes: a qualidade do

²¹ No original se refere aos níveis primário e secundário no contexto dos países ibero-americanos, mas pelo desenrolar do texto fica claro que o problema se estende aos diferentes níveis educacionais - no caso brasileiro, a educação básica.

ensino ofertado e os níveis de aprendizagem entre os jovens estudantes. Um indicador utilizado pelas políticas educacionais para tratar a questão da efetividade da aprendizagem é o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes - PISA²². A medição das competências dos jovens até 15 anos nas áreas científicas visa mensurar as habilidades de manipulação e informação e, a capacidade de compreender sua natureza, poderes e limitações do conhecimento de três áreas científicas: vida e saúde, Terra e meio ambiente e, tecnologia (OCDE, 2012, p. 15-16). A fragilidade do ensino das ciências no Brasil é apontada pelos dados do PISA de 2009 e 2012. As competências dos jovens são *medidas* por níveis, em que o primeiro reflete os estudantes que possuem conhecimento científico limitado e dão explicações científicas óbvias a partir de dados explícitos; ao nível seis, mais altos da escala, que diz respeito àqueles estudantes que explicam e aplicam, de maneira consistente, o conhecimento científico em várias situações da vida, e são capazes de desenvolver argumentos para resolver situações pessoais, sociais e globais (OCDE, 2012, p. 25).

A situação do Brasil na escala de competências científicas no ano de 2009 e 2012 se localizava no nível 2²³: são jovens que possuem conhecimentos para dar explicações em contextos familiares e tirar conclusões baseadas em pesquisas simples (MARQUES, 2012; OECD, 2013). Países como China, Finlândia, Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos possuem níveis acima dos 500 pontos, ocupando as primeiras posições no ranking dos países avaliados (MARQUES, 2012). Apenas 4% dos jovens brasileiros avaliados em 2009 estavam acima do nível quatro nas prova de Ciências, nível esse, que chega os

²² “O Programa Internacional de Avaliação de Alunos é uma avaliação internacional que mede o nível educacional de jovens de 15 anos por meio de provas de Leitura, Matemática e Ciências. O exame é realizado a cada três anos pela OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico), entidade formada por governos de 30 países que têm como princípios a democracia e a economia de mercado. Países não membros da OCDE também podem participar do Pisa, como é o caso do Brasil, convidado pela terceira vez consecutiva. O objetivo principal do Pisa é produzir indicadores que contribuam, dentro e fora dos países participantes, para a discussão da qualidade da educação básica e que possam subsidiar políticas nacionais de melhoria da educação” (INEP, 2012).

²³ Nos diferentes níveis os estudantes são capazes de dar as seguintes respostas frente aos questionamentos da avaliação: Nível 1) só conseguem apresentar explicações científicas óbvias; Nível 2) conseguem interpretar, de forma literal, os resultados de uma pesquisa simples; Nível 3) conseguem interpretar e usar conhecimentos científicos em várias disciplinas; Nível 4) conseguem refletir e tomar decisões usando evidências científicas; Nível 5) constroem explicações baseadas em evidências e argumentos calcados em sua análise crítica; Nível 6) demonstram de modo consistente capacidade de raciocinar de forma cientificamente avançada (MARQUES, 2012).

40% na Coreia, contingente considerado de elite dentro os estudantes e depósito de expectativas para criar as próximas gerações de pesquisadores (MARQUES, 2012). As dificuldades dos estudantes brasileiros estariam relacionadas à falta de infraestrutura das escolas, a valorização e a capacitação dos professores para educação científica, o pouco alcance das políticas públicas para o tema e a pouca articulação entre o conhecimento escolar e o cotidiano (MARQUES, 2012). Tal situação escolar põe em evidência que o Brasil se defronta, com enormes desafios, no contexto da melhora na qualidade de ensino, complexificação da aprendizagem e na formação de docentes.

Tomamos esses dados para compreender parte da problemática escolar quanto tratamos de conhecimentos para a nanotecnologia. O conhecimento prévio nas áreas das ciências físicas, química e biológica é fundamental para o entendimento dos fenômenos na escala nanométrica. Esses conhecimentos são necessários para a continuidade dos estudos e para o desenvolvimento da vida profissional, principalmente para aqueles que escolherem – ou puderem – direcionar-se para as carreiras tecnológicas e científicas. Cresce a demanda pela popularização da ciência e da tecnologia como fator de inclusão social, mas ao mesmo tempo, urge o compromisso com a qualidade de ensino que poderia dar condições as pessoas se apropriarem verdadeiramente dos aspectos sócio históricos da ciência e da tecnologia.

Algumas expectativas em torno da educação se concretizam na qualificação técnica para o trabalho com a nanotecnologia. Uma vez que o mercado de produtos nanotecnológicos vem se ampliado, há o indicativo do aumento de empresas com processos produtivos utilizando tal tecnologia e, portanto, maior requerimento de trabalhadores para esses processos. No próximo item deste capítulo tratamos do desenvolvimento do mercado para a nanotecnologia e alguns aspectos da qualificação técnica identificada por pesquisas internacionais. Dados sobre o atual mercado mundial apontam o crescimento dos investimentos (EUROPEAN COMMISSION, 2013; MALSCH, 2013; ABDI, 2013, 2012; INVERNIZZI, 2012; HWANG & BRADLEY, 2010; PCAST, 2010; ROCO *et al.*, 2010; HELMUT KAISER, 2007) e identificam necessidades de qualificação (SILVA, 2003; HENN 2004, apud STOA, 2007; ABICHT *et al.*, 2006; USDL 2006; GODBE RESEARCH, 2006; CLEARY *et al.*,

2009; SING, 2007; SEMPTA, 2009; SCHUMANN, 2009; ONET, 2010; MILES, 2010).

2.4 INVESTIMENTOS, PRODUÇÃO E EXPECTATIVAS DE QUALIFICAÇÃO TÉCNICA PARA A NANOTECNOLOGIA²⁴

Podemos observar, por meio de pesquisas nacionais e internacionais, que cresceu a quantidade de produtos disponíveis no mercado que utilizam a nanotecnologia. Junto ao aumento de produtos elevaram-se os investimentos destinados a P&D envolvendo a nanotecnologia, ao que parece, tem despertado o interesse das empresas por tecnologias emergentes que possam trazer um diferencial comercial aos seus produtos. Apesar de poucos dados disponíveis sobre a quantidade de empresas realizando pesquisas e utilizando a nanotecnologia como inovação, há indicativos de que o mercado vem crescendo pela quantidade de novos produtos que entram anualmente em comercialização. E que, muitos trabalhadores já convivem com a incorporação da nanotecnologia à produção industrial.

Em conjunto o perfil dos trabalhadores atualmente empregados em atividades que utilizam a nanotecnologia é consistente com o estágio inicial de incorporação industrial da tecnologia: cientistas e engenheiros altamente qualificados desempenhando atividades de pesquisa e inovação. Contudo, a medida que se expandem a produção e a comercialização desses produtos, a demanda por trabalhadores para diversos postos na manufatura, controle de qualidade, vendas e outras funções, também tende a crescer. Neste capítulo são apresentados dados nacionais e internacionais sobre os investimentos, a atividade comercial da nanotecnologia e quais trabalhadores estão envolvidos com atividades nanotecnológicas.

²⁴ Item semelhante foi publicado por Waleska C. Laureth e Noela Invernizzi no artigo “*Educando a força de trabalho em Nanotecnologias no Brasil: demandas da indústria e oferta das universidades*” na Revista Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, volume 34, edição de julho-dezembro de 2012.

2.4.1 O mercado global e a atividade empresarial em nanotecnologia

Os investimentos realizados em P&D na área da nanotecnologia têm criado expectativas sobre o retorno positivo em relação à inserção positiva dos países na concorrência no mercado mundial. Estimativas da *European Commission* (2013) indicam que o mercado global de nanomateriais chega a da produção de 11 milhões de toneladas, com um valor estimado de 27 bilhões de dólares. A consultora americana, *Lux Research*, estimou que o mercado de produtos que incorporam nanotecnologia atingirá, até 2015, 2,5 trilhões de dólares (HWANG & BRADLEY, 2010). As cifras alcançadas em 2009 – 229 bilhões de dólares – haviam multiplicado em quase oito vezes o valor atingido apenas quatro anos antes (PCAST, 2010, p. 19), demonstrando o crescimento significativo do mercado mundial da nanotecnologia.

Entre 1990 e 2008, foram identificadas 17.600 empresas de 87 países que publicaram ou registraram patentes sobre essa tecnologia (ROCO *et al.*, 2010, p. 410). Esses dados são indicativos de que um importante número de empresas está desenvolvendo e/ou utilizando a nanotecnologia. Helmut Kaiser (2007) contabilizou a existência de 1.600 empresas fornecedoras de soluções nanotecnológicas, em âmbito mundial. Conforme verificação realizada em 2013, o banco de dados da *Nanowerk*²⁵ possuía relacionada uma listagem de 2.096 empresas de 50 países realizando pesquisa, manufatura ou aplicações de nanotecnologia²⁶, incluindo o Brasil. Entre elas encontravam-se desde pequenas *start-ups* até grandes corporações, indústrias de alta tecnologia e indústrias e tradicionais (BAKER & ASTON, 2005; HULLMAN, 2006; YOUTIE *et al.*, 2009) Em pesquisa recente sobre as necessidades para a indústria europeia no âmbito da nanotecnologia, das 67 empresas respondentes do questionário eletrônico promovido pela *Nanotechnology Education for Industry and Society* (NANOEIS), 61% das empresas eram de médio e pequeno porte, 19% grandes empresas, 10% *spin-offs* e 9% associações industriais (MALSH, 2013).

²⁵ Portal de informações sobre Nanociências e Nanotecnologias.

²⁶ Número certamente inferior à realidade. No Brasil identificamos cinco empresas dedicadas ao fornecimento de soluções nanotecnológicas: Nanox, Nanum Nanotecnologia, Biolab, TNS e Nanovetores. Além disso, segundo dados do MCTI, 130 empresas receberam/recebem financiamento ou benefícios econômicos para as atividades de nanotecnologia (MCTI, 2013).

Os dados no Brasil são escassos. Em levantamento sobre o número de empresas que desenvolviam ou utilizavam nanotecnologia no Brasil, Invernizzi (2012) identificou, entre diferentes setores industriais, 155 empresas com alguma atividade com a tecnologia. Outro levantamento sobre as atividades nanotecnológicas no Brasil vem sendo realizado periodicamente pela ABDI na pesquisa *Sondagem de Inovação*. Nessa pesquisa, empresas brasileiras de grande porte – com 500 ou mais pessoas ocupadas – da indústria extrativa e de transformação, são questionadas sobre a utilização de nanotecnologia em algum de seus produtos. Na última divulgação de dados (ABDI, 2013) a sondagem constatou que a utilização da nanotecnologia encontra-se em fases iniciais de utilização pelas empresas (ABDI, 2012, p. 09). Os dados coletados em 2012 não diferem dos observados em 2010 e 2011. Questionadas sobre o conhecimento do *uso de nanotecnologia em outra empresa*, 86,6% das empresas indicam desconhecer se a tecnologia é utilizada por outra empresa (2012), com dados semelhantes em 2011 e 2010 com 88,9% e 84,5% respectivamente (ABDI, 2012, p.35).

No que tange ao *desenvolvimento de projetos* que utilizam a nanotecnologia, 9,5% das empresas indicaram resposta afirmativa em 2012. Dado que era menor em 2011, com 7,7%, e maior em 2010 com 10,9% (ABDI, 2012, p.35). Em relação à *utilização da tecnologia em produtos ou processos*, ainda segundo da sondagem, houve um pequeno crescimento em relação aos anos anteriores: 4,7% empresas da amostra em 2010 indicaram estar utilizando a nanotecnologia em produtos ou processos, aumento para 5,8% em 2011, chegando em 7,2% das empresas no segundo trimestre de 2012 (ABDI, 2012, p.35). Os dados sinalizam que a utilização da nanotecnologia nas empresas brasileiras encontra-se nos estágios iniciais, no entanto, com perspectiva de desenvolvimento.

É importante observar que os dados que indicam a baixa inovação via nanotecnologia não dizem respeito somente à adoção dessa tecnologia pela indústria, trata-se uma característica histórica do sistema produtivo brasileiro de baixo investimento em P&D. Os levantamentos internacionais da OECD sobre intensidade tecnológica na indústria classificam como indústrias de “alta

tecnologia” aquelas que destinam investimentos para P&D superiores a 4% de seu faturamento, as de “média tecnologia” entre 1 e 4% e “baixa tecnologia” menos que 1% (DAGNINO, 2009). Segundo os dados da PINTEC/2011 os investimentos, em relação à receita líquida as indústrias, para P&D ficam em torno de 0,71% em 2011, apresentando um leve aumento em relação às duas edições anteriores da pesquisa: 2008 com 0,62% e 2005 com 0,57% de dispêndio de receita para as atividades de P&D (IBGE, 2013). Também em relação à inovação, as taxas da indústria brasileira são baixas. Segundo a PINTEC o dispêndio de receita para atividades de inovação em 2011 foi de 2,37%, menor que as taxas de 2008 e 2005 que ficaram com 2,54% e 2,77% respectivamente. Quando solicitadas a atribuírem importância às atividades de inovação entre 2009-2011, as indústrias que inovaram indicaram por grau de importância as seguintes atividades: aquisição de máquinas e equipamentos, com 75,9% das indicações; treinamento, 59,7%; aquisição de software e a introdução de inovações tecnológicas no mercado, ambas com 30% (IBGE, 2013).

O baixo índice da adoção de tecnologia pela indústria talvez possa ser justificado pela característica periférica da indústria brasileira, em que a inovação não é fator fundamental de extração de lucro ou ainda pelos riscos e incertezas que uma nova tecnologia pode trazer. Não se têm dados concretos sobre quais indústrias estão fazendo a adoção da nanotecnologia. Alguns dados da PINTEC edição de 2008 e 2011 podem nos fornecer um panorama mais geral das empresas que estão pesquisando, utilizando e/ou produzindo nanotecnologia no Brasil. Analisando os dados coletados pela Pesquisa de Inovação (PINTEC)²⁷ de 2008, Peixoto (2013), constata a existência de 487 unidades – entre empresas de diferentes portes e setores da indústria de transformação e instituições de pesquisa e desenvolvimento científico – que realizaram alguma atividade relacionada à nanotecnologia - pesquisa, uso e/ou produção entre os anos de 2006 e 2008²⁸ (PEIXOTO, 2013, p. 161). Pelos dados da PINTEC a inserção da

²⁷ A PINTEC é realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

²⁸ Os dados, no entanto, não são precisos. A quantidade total de empresas com atividades em nanotecnologia na PINTEC 2008, apontada por Peixoto (2013), diferem da quantidade indicada pela Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (MCTI, 2014) que indica 608 empresas identificadas na PINTEC de 2008 com atividades em nanotecnologia.

nanotecnologia não se limitaria no Brasil a um único segmento da indústria, um tipo de produto ou algum processo específico (PEIXOTO, 2013). Segundo os dados analisados, dois segmentos se destacam conforme a Classificação de Atividades Econômicas (CNAE) na versão 2.0: *Fabricação de produtos químicos e fabricação de produtos diversos* (PEIXOTO, 2013, p. 162). Foram identificadas 120 empresas que realizam alguma atividade relacionada à nanotecnologia na atividade de *Fabricação de produtos químicos*, e 113, para a *Fabricação de produtos diversos* (PEIXOTO, 2013, p. 162). Não há descrição dos tipos de produtos na fabricação de produtos diversos nos dados analisados por Peixoto (2013), no entanto, o mercado de produtos médicos e odontológicos²⁹ com uso de nanotecnologia é presente no Brasil e tais produtos pertencem à classe de produtos diversos indicados na PINTEC.

Apesar das flutuações na quantidade estimada de empresas atuando na área da nanotecnologia, os levantamentos indicam que a atividade no setor vem se expandindo no Brasil. A última edição da PINTEC, com dados coletados entre 2009 e 2011, indica um aumento na quantidade de empresas realizando atividades relacionadas ao uso, produção e P&D em nanotecnologia. O levantamento aponta que no período de 2009-2011, 1.132 empresas declararam estar realizando atividades relacionadas à nanotecnologia (IBGE, 2013). Um aumento estimado de mais de 100% em relação à quantidade de empresas identificadas pela PINTEC de 2008. Dentre as modalidades de difusão dessas empresas 57,7% são incorporadoras de nanotecnologia (usuária final), 32,8% usuárias integradoras, 12,6% dedicadas a P&D e 6,8% produtoras de nanotecnologia. A maior quantidade dessas empresas é do setor industrial, com 86,2% das indicações, as demais seriam instituições de pesquisa e desenvolvimento científico (IBGE, 2013).

Os inventários, nacionais e internacionais, podem ainda estar com o número de empresas subestimado, uma vez que a maior parte dos países não possuem relatórios sobre a quantidade de empresas residentes desenvolvendo nanotecnologia (PALMBERG, DERNIS & MIGUET, 2009). No *Project on Emerging Nanotechnologies* foram relacionados mais de 1300 produtos sendo

²⁹ ABDI (2010)

comercializados e que foram identificados pelo fabricante. O inventário aponta que as nanopartículas vêm sendo utilizadas em diferentes tipos produtos. A linha de produtos para a saúde e *fitness* representam 56% do total de produtos listados, a maior parte deles utilizando nanopartículas de prata com fins antimicrobianos (NANOTECNOLOGIA HOJE, 2011). A NANOEIS identificou que a maior parte das empresas entrevistadas na Europa, atua na fabricação de algum produto que utiliza a nanotecnologia, seguida daquelas que produzem soluções nanotecnológicas (MALSCH, 2013, p. 08). No Brasil, a *Cartilha sobre Nanotecnologia* da ABDI (2010) identifica alguns tipos de produtos. A listagem da cartilha, sem identificação da empresa produtora, inclui: pigmentos de tintas, secadores de cabelo, lápis, tratamento de água, esterilizadores de água, cosméticos, palmilhas (ABDI, 2010, p. 33). Os setores que possivelmente estão desenvolvendo atividades com a nanotecnologia, segundo a ABDI (2010), são: cuidados pessoais e cosmético, têxtil, cerâmico, ambiental, químico, vestuário, plástico e fármaco.

Desde o lançamento do primeiro programa nacional de desenvolvimento da nanotecnologia, feito em 2000 pelos EUA, quase todos os países desenvolvidos e muitos dos em desenvolvimento, destinam recursos anuais para a pesquisa e desenvolvimento da nanotecnologia (HARPER, 2011). China, Estados Unidos, Rússia e Japão lideram na quantidade de dinheiro investido em programas de nanotecnologia. Foram estimados gastos mundiais de aproximadamente 10 bilhões de dólares por ano em pesquisa e desenvolvimento da nanotecnologia (HARPER, 2011). As estimativas eram que, até 2014, os investimentos mundiais totalizariam 100 bilhões de dólares (HARPER, 2011). No Brasil, os investimentos públicos previstos para 2013 alcançaram a cifra de 150,7 milhões de reais, divididos em incremento dos laboratórios nacionais, subvenção econômica para projetos, apoio à pesquisa e redes de inovação, além de ações de cooperação internacional (MCTI, 2013)³⁰.

A expansão do mercado de produtos e insumos nanotecnológicos nos permite inferir que está começando a surgir demanda por força de trabalho industrial qualificada. Uma questão que se coloca para os estudos sobre os

³⁰ O relatório com as atividades de 2013 ainda não havia sido divulgado até início de 2014.

trabalhadores e o mercado de trabalho é analisar em que medida as tecnologias contemporâneas podem ou não influenciar a qualificação e a oferta de emprego. Foladori e Invernizzi (2010) e Invernizzi (2012) realizaram estudos sobre as tendências de inovação de produtos por meio da nanotecnologia. Os autores tomam por base os produtos identificados pelo inventário realizado pelo *Woodrow Wilson Center* e de produtos conhecidos de empresas brasileiras. Esses estudos problematizam se tais inovações poderiam ou não afetar a estrutura do emprego. Foladori e Invernizzi (2010) adotam, como fatores de análise, o tipo de inovação contida nos produtos com nanotecnologia, são eles: *maior eficiência, durabilidade e multifuncionalidade dos produtos*. Segundo os autores, a *maior eficiência dos produtos* poderia resultar na substituição de produtos tradicionalmente existentes no mercado, gerando instabilidades nas empresas e empregos. Já *os produtos mais duráveis e multifuncionais* tenderiam a agregar outras funções diferentes daquelas existentes anteriormente. Por exemplo, os produtos nutracêuticos que combinam medicamentos, alimentos e cosméticos em um mesmo produto; ou ainda, produtos que incorporam funções de conservação, que previamente requeriam atividades específicas – como no caso das pinturas que eliminam o mofo e autor reparam danos, tecidos resistentes a manchas, roupas que não enrugam, vidros auto limpantes, etc.

Tais inovações, segundo os autores, tenderiam a reduzir a quantidade de trabalhadores necessários na produção, conservação e reparação nos processos produtivos que incorporam a nanotecnologia. Problematicam ainda, que as mudanças nos materiais utilizados nos novos produtos nanotecnológicos, tanto nas matérias-primas quanto nos produtos manufaturados intermediários, poderiam provocar alterações significativas na estrutura setorial e na sua distribuição regional/global dos empregos (FOLADORI & INVERNIZZI, 2010).

Ainda não é possível examinar o impacto que a nanotecnologia vem provocando ou poderá provocar em um futuro próximo, devido à falta dados e a adoção recente da tecnologia pela indústria. Os indícios são de que junto a outras tecnologias – biotecnologia, engenharia de materiais, impressão 3D, robótica avançada, aumento da capacidade de microeletrônica e tecnologias de comunicação, convergência entre organismos orgânicos e inorgânicos, etc. – a

permanente busca pela inovação de produtos e processos crie uma demanda permanente de (re) qualificação dos trabalhadores. As previsões sobre a demanda de força de trabalho em nanotecnologia indicam que alguns países vêm se preocupando com a possível escassez de mão de obra (ROCO, 2001, 2003; LUX RESEARCH, 2007; MACNEIL, 2007; SING, 2007; LUTHER, 2007; MALSH&OUD 2008; PALMBERG, DERNIS & MIGUET, 2009; MALSCH, 2013). Na sequência desse capítulo apresentamos alguns elementos dessa discussão e algumas projeções de demanda de trabalhadores para o mercado de trabalho da nanotecnologia.

2.4.2 Expectativas de qualificação técnica para a nanotecnologia e as práticas empresariais de mobilização da força de trabalho

No início dessa década, a projeção para os empregos era que, até 2015, as atividades com base em nanotecnologia criariam cerca de dois milhões de empregos, em todo o mundo (ROCO, 2001, p. 357). Uma estimativa mais recente aponta para um montante de seis milhões de trabalhadores em todo o mundo, até 2020, sendo desses, dois milhões somente nos EUA (ROCO *et al.*, 2010). Contudo, os dados sobre o atual uso da força de trabalho são incertos, pois não existem estatísticas que captem especificamente a quantidade de trabalhadores que atuam na produção ou processos com uso de nanotecnologia. Alguns dados indiretos sugerem que nos em 2010 nos Estados Unidos havia, entre pesquisadores e trabalhadores da indústria, cerca de 160.000 empregos relacionados à nanotecnologia (ROCO *et al.*, 2010). Na Alemanha, 860 empresas com atividades em nanotecnologia empregavam 63.000 trabalhadores em 2008 e projetava-se uma demanda de 43.200 novos trabalhadores até 2013 (BMBF, 2009). Atualmente na Europa, os empregos diretos no setor dos nanomateriais estão estimados entre 300 a 400 mil postos de trabalho (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

No Brasil não há levantamentos precisos sobre a quantidade de empregos diretos nas empresas que trabalham com nanotecnologia. Deduz-se que a

ocupação na área tem crescido tendo em vista: a destinação de 630 milhões de reais pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP/MCTI) entre 2006-2010, para apoio de Pesquisa e Inovação no setor (ALFONSO, 2011, p. 22); os levantamentos da Sondagem Industrial que mostram leve aumento de empresas atuando no setor (2010, 2011, 2012) e os dados da PINTEC (2008; 2012). Segundo dados da *Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia*, 130 empresas receberam ou recebem financiamento ou benefícios econômicos para o desenvolvimento da nanotecnologia (MCTI, 2013). Dessas 130 empresas, 17,8% delas investiram em *nanomateriais*, seguidas das empresas com *atividades farmacêuticas*, com 13%, empresas do setor da energia e da saúde, ambas com 7,7% cada, empresas de biotecnologia, com 6,9% e empresas do ramo da odontologia, com 6,2% (MCTI, 2013). Outras atividades e setores produtivos identificados, ainda que com menor expressividade: agroindústria, alimentação, produtos ecológicos, química e petroquímica, dispositivos industriais, têxtil, tintas e vernizes, cosméticos, embalagens e plásticos, engenharia e nanomicroeletrônica (MCTI, 2013).

O MCTI identificou 260 grupos de pesquisa em nanotecnologias no país, com aproximadamente 2.500 pesquisadores e 3.000 estudantes atuando na temática. A maior parte deles concentrada nas áreas da Química, da Farmácia, da Medicina, da Física e da Engenharia/Metalúrgica de materiais (MCTI, 2013). Compõem ainda o levantamento, grupos de pesquisa das áreas da Odontologia, Engenharia Civil, Engenharia Mecânica, Ciência e Tecnologia de alimentos, Engenharia Química e Engenharia Elétrica (MCTI, 2013). Com o crescimento das pesquisas e aumento da incorporação de nanotecnologia a indústria, é previsível que ocorra o crescimento do número de trabalhadores alocados nos processos produtivos. Mas qual o perfil desses trabalhadores? Até o momento não se tem conhecimento sobre estudos nacionais que informem sobre o perfil dos trabalhadores entre diferentes atividades em nanotecnologia *nas empresas*.

Pesquisas desenvolvidas na Alemanha, no Reino Unido e nos Estados Unidos convergem em evidenciar que se trata de um momento de transição, em que as demandas de força de trabalho em nanotecnologia não apenas provêm dos laboratórios de P&D, mas também de um conjunto amplo de atividades nos

processos produtivos e suas atividades relacionadas. Na Alemanha, Henn (2004, *apud* STOA, 2007) entrevistou 42 empresas que projetavam aumento de demanda de cientistas, engenheiros e trabalhadores qualificados entre os anos de 2004-2007. Avaliação semelhante naquele país foi feita em 2006, com base em fontes secundárias e investigações prévias, envolvendo 151 funcionários de 132 estabelecimentos (ABICHT *et al.*, 2006, p.38). Foram identificadas nesse estudo, demandas de trabalhadores para além das atividades de P&D, também para as atividades na manufatura, de controle de qualidade, de documentação, de marketing e de distribuição (ABICHT *et al.*, 2006).

O *survey* realizado por Sing (2007) reportou que a maior demanda no mercado de trabalho em nanotecnologia estava concentrada — tanto na indústria como nas instituições de pesquisa — para profissionais graduados e pós-graduados, destinados as atividades de pesquisa e inovação, havendo, ainda, um aumento na demanda por técnicos qualificados. Em 2009, no Reino Unido, um estudo avaliou as qualificações necessárias para a manufatura avançada. Os resultados mostraram que o potencial industrial da nanotecnologia ainda não havia se acelerado e que as demandas de qualificação se concentravam em P&D, atividades relacionadas à propriedade intelectual e o desenvolvimento de novos produtos (SEMPA, 2009, p.56).

Nos EUA o Departamento de Trabalho descreveu oportunidades de emprego em nanotecnologia para várias ocupações. Os postos mais demandados requeriam treinamento universitário mais extenso, como por exemplo, para cargos de engenheiro industrial e químico. Outras ocupações com crescente demanda correspondiam a pessoal com treinamento de dois anos, tais como representantes de vendas, postos de trabalho na manufatura e técnicos em diversas especialidades (USD, 2006). Na Califórnia, uma pesquisa com 240 empresas de nanotecnologia e microtecnologias mostrou que, em 2005, além de cientistas e engenheiros, as empresas estavam recrutando técnicos e trabalhadores para a manufatura (GODBE RESEARCH, 2006).

Van Horn e Fichtner (2008) entrevistaram mais de 50 pessoas que trabalhavam em empresas e instituições de pesquisa em nanotecnologia nas cidades de Phoenix e Tucson, Arizona. A maior parte das pessoas entrevistadas

declarou que suas empresas pensavam aumentar a contratação de trabalhadores para a área. Metade dos entrevistados afirmou que o uso da nanotecnologia iria mudar as qualificações dos trabalhadores, de forma moderada ou profunda nos próximos anos. Em outro estudo são analisadas duas grandes empresas farmacêuticas. Nelas, embora o número de postos de trabalho relacionados à nanotecnologia ainda fosse reduzido, foi avaliado que a introdução da nanotecnologia modificaria as qualificações requeridas em diversos cargos, incluindo P&D, manufatura, pessoal de marketing, assessoria legal, e também os cargos executivos. Em termos de experiência profissional alguns estudos norte-americanos destacam que as empresas têm aproveitado da experiência prévia dos funcionários da empresa, acrescentando o treinamento *on the job*, para qualificar para as atividades com nanotecnologia (VAN HORN & FICHTNER, 2008; CLEARY *et al.*, 2009). As empresas contratam pessoas com pouca experiência e optam pelo treinamento na própria empresa, por meio do contato com o trabalho em equipe e a orientação/supervisão de um cientista sênior (VAN HORN & FICHTNER, 2008; CLEARY *et al.*, 2009).

A *Occupational Information Network* sugeriu, no contexto norte-americano, a emergência de ocupações específicas na área de nanotecnologia, tais como: engenharia em nanotecnologia e engenharia em nano-sistemas, assim como a continuidade de uma ampliação na demanda de qualificações a ser atribuídas à ocupações já existentes (ONET, 2010). No contexto brasileiro Miles (2010) corrobora com a noção de criação de novas ocupações. O autor avalia que a natureza interdisciplinar da nanotecnologia pode abrir oportunidades para novos cursos e carreiras, especialmente focadas em áreas tecnológicas que demandam especialistas. Um exemplo típico seria a criação do tecnólogo em microscopia. Os profissionais, que atuam na área de microscopia são, geralmente, físicos ou engenheiros com anos de experiência. O tecnólogo em microscopia teria uma formação básica em física, matemática e eletrônica, além de conhecimentos específicos em microscopia eletrônica de varredura, microscopia eletrônica de transmissão, microscopia de tunelamento e força atômica (MILES, 2010). Esse seria um dos exemplos de como a nanotecnologia poderia dar espaço ou mesmo criar outras carreiras, devido a demandas específicas. Essa tendência iria de

encontro ao que argumenta Schumann (2009): a entrada da nanotecnologia em diferentes setores produtivos geraria um perfil de competências relacionadas às atividades de inovação com base na nanotecnologia, mas não a criação de novas ocupações. Segundo o autor, novas necessidades de qualificações estariam postas, mas teriam mais impacto na formação inicial e continuada dos trabalhadores, do que na criação de novas ocupações (SCHUMANN, 2009). A mesma perspectiva pode ser observada nas publicações de Roco (2001, 2003).

Para Roco (2001) haveria a necessidade de formação de uma nova geração de trabalhadores com determinados conhecimentos, que os permitissem transitar pelo caráter interdisciplinar da nanotecnologia. Os conceitos da nanoescala, segundo ele, deveriam ser introduzidos imediatamente no sistema de ensino para que a nanotecnologia possa desempenhar um papel revolucionário na base tecnológica (ROCO, 2001, p. 357). Dois anos mais tarde, em 2003, Roco assina nova publicação sobre convergência científica e tecnológica em nanoescala e as oportunidades educacionais, destacando que a falta de treinamento e conhecimentos tinha se colocado como um entrave no desenvolvimento e implementação das nanotecnologias, nos EUA (ROCO, 2003, p. 1247). Na mesma publicação o autor destacava a necessidade urgente de qualificação rápida e interdisciplinar para técnicos, engenheiros, médicos e cientistas, tendo como desafio um tipo de formação educacional que os permitam comunicar-se com as diferentes áreas do conhecimento (ROCO, 2003, p. 1247-1248).

Para a educação formal a questão da interdisciplinaridade tem sido destacada como essencial para compreender as diferentes disciplinas que estudam a nanotecnologia, na atividade industrial interesse pela interdisciplinaridade tem se orientado para a composição de equipes de trabalho com diversas especialidades. Segundo Miles (2010), o interesse da indústria da nanotecnologia tem sido por profissionais que consigam estabelecer comunicação entre a nanotecnologia às aplicações nos diversos setores industriais. Argumento semelhante é enfatizado por estudos realizados na Alemanha, que projetaram um cenário em que as qualificações para a nanotecnologia iriam variar conforme o setor de aplicação produtivo (ABICHT, 2006; SCHUMANN, 2009).

Outro elemento da discussão da qualificação são as *soft skills*, ou seja, competências de caráter comportamental e social. Abicht *et al.* (2006) identificou algumas tendências de *soft skills* para a nanotecnologia, no contexto europeu. As *soft skills* identificadas diziam respeito à capacidade de pensar complexamente, responsabilidade, capacidade de verificar a existência de falhas/estar ciente dos problemas, baixo nível de estresse e iniciativa (ABITCH *et al.*, 2006, p. 41). Essas competências mais etéreas complementariam as competências que dão organicidade ao modelo da acumulação flexível: o trabalho em equipe, a capacidade de comunicação, a superação de conflitos e o compartilhamento de responsabilidades. As últimas competências apontadas são similares às identificadas pela OCDE (2010) em pesquisa realizada em nível mundial com empresas que possuem atividades relacionadas à nanotecnologia (OCDE, 2010, p. 80-101).

A possibilidade de escassez de pessoal qualificado é indicada por pesquisas internacionais como um obstáculo importante para o desenvolvimento das atividades de nanotecnologia. A partir de entrevistas com 26 empresas dos EUA, a *Lux Research* (2007) reportou que 60% das empresas entrevistadas considerava que enfrentariam *falta de talentos* em nanotecnologia. Também nos EUA, um reporte preparado para o Departamento de Comércio (MACNEIL *et al.*, 2007, p. 31) indicou que o país depende de força de trabalho qualificada estrangeira, e que muitos trabalhadores qualificados estariam retornado aos seus países de origem. O mesmo estudo também destacou a possível escassez de força de trabalho de nível técnico e recém-graduado. Na União Europeia, o temor de não contar com suficientes quadros qualificados parece ainda mais intenso. Em 2004, 44% dos 733 respondentes à *Consulta Aberta sobre a Estratégia Europeia para Nanotecnologia* indicaram que esperavam uma escassez de pessoal treinado em nanotecnologia, nos próximos cinco anos, e outros 24%, nos próximos dez anos. A consulta evidenciou que tal situação era vista como a maior dificuldade para as pequenas e médias empresas, em que se enquadram também as *start-ups* (MALSH & OUD, 2008, p. 03).

O *survey Qualificação e Treinamento para Nanotecnologia*, conduzido no Reino Unido (SING, 2007, p.22) destaca que metade das instituições de pesquisa,

empresas e instituições de formação consultadas, reportaram problemas com o recrutamento de recursos humanos, sendo especialmente severo o caso dos técnicos. Na Finlândia, o *survey* realizado em 2006 indicou que, 44% das 93 empresas pesquisadas, consideravam difícil recrutar pessoal qualificado em nanotecnologia (PALMBERG, DERNIS & MIGUET, 2009, p. 86). Na Alemanha, em torno de um terço das 107 empresas entrevistadas pelo *VDI Technology Centre* em 2003, considerou a falta de pessoal qualificado como uma possível barreira para o desenvolvimento da Nanotecnologia (LUTHER, 2007, p.30). Em estudo mais recente sobre as necessidades de qualificação técnica para a nanotecnologia na Europa, contraditoriamente, 76% das empresas entrevistadas – de um total de 67 – indicam que possuem trabalhadores habilitados para trabalhar com atividade relacionada à nanotecnologia (MALSCH, 2013). No entanto, indicam que faltam profissionais experientes em transferência tecnológica, uma vez que a maior parte dos recrutados, seriam egressos de universidades, possuindo mais domínio sobre o conhecimento teórico que sobre as aplicações práticas (MALSCH, 2013).

No Brasil, quando das primeiras discussões para elaboração de um *Programa Nacional de Nanotecnologia*, em 2003, estimava-se necessário treinar entre 2500 e 6000 profissionais (pesquisadores, engenheiros e técnicos) do nível médio ao pós-doutorado (SILVA, 2003, p.6-7). No âmbito do ensino superior os dados do MCTI sobre os grupos de pesquisa indicam que parte da estimativa necessária foi alcançada, uma vez que temos atualmente, aproximadamente, 2.500 pesquisadores e 3.000 estudantes dedicados a grupos de pesquisa da área (MCTI, 2013). Também foram criados três cursos de graduação relacionados à temática da nanotecnologia. No entanto, para o nível técnico são poucas as iniciativas de formação possíveis de serem identificadas. O programa nacional destacava a necessidade de conceber, desenvolver e programar currículos inovadores em todos os níveis de ensino. O SENAI foi uma das primeiras organizações a manifestar interesse no programa. Segundo o documento do *Programa Nacional de Nanotecnologia*, estavam definidas, já em 2003, estratégias para incorporar conceitos de nanotecnologia nos programas de treinamento do SENAI, bem como mapeando das necessidades de recursos

humanos treinados em nanotecnologia nas indústrias do país. As ações desenvolvidas atualmente pelo SENAI para a nanotecnologia são: capacitação de docentes para a temática da nanotecnologia, investimentos em infraestrutura como o *Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Nanotecnologia* – localizado em São Bernardo do Campo –, o *Centro de Nanotecnologia aplicada à Metalurgia* – em Osasco – e disponibilidade de Laboratórios de Nanometrologia e Microusinagem em São Paulo (SENAI/SP). Além dessas iniciativas foram estruturadas cinco escolas móveis de nanotecnologia, que receberam o nome de *Nanomundo*, equipadas com recursos audiovisuais e didáticos que visam a “(...) análise de dispositivos em escala nanométrica, observações microscópicas e verificações sobre o tamanho das partículas” (SENAI/SP, 2013, p. 101-102). Contudo, não foram identificados cursos de formação ou capacitação técnica, sendo a infraestrutura atualmente dedicada à pesquisa e desenvolvimento.

2.5 SÍNTESE

A falta de pesquisas empíricas com empresas, para identificar como se organizam as atividades produtivas envolvendo a nanotecnologia, dificultam o entendimento se há implicações ou não para as relações de trabalho. Pela revisão bibliográfica realizada, as empresas tem concentrado o trabalho direto com a nanotecnologia em atividades de P&D. A qualificação técnica para essas atividades tem concentra-se nível do ensino superior, principalmente na pós-graduação. Contudo, o desenvolvimento mais amplo da tecnologia, inclusive do ponto de vista econômico, dependeria do alargamento dos níveis de atividades e qualificações. Se por um lado constata-se a falta de interesse dos jovens pelas carreiras científicas e engenharias, e o estímulo para a aderência a estas áreas do conhecimento é entendido como fundamental para o desenvolvimento econômico e social dos diferentes países, por outro lado, as empresas e os centros de pesquisa não parecem estar sentindo esta desmotivação em termos de escassez de trabalhadores. A inserção nos conteúdos escolares sobre a matéria na escala nanométrica, a ampliação da formação para outros níveis de ensino e os treinamentos parecem ser as alternativas para suprir uma tendência

de escassez. Soma-se à demanda do mercado em formar mais pessoas em carreiras científicas e das engenharias, o desafio da melhoria da qualidade do ensino ofertado. No caso brasileiro, a apropriação do conhecimento científico como forma de explicação do mundo, a popularização da ciência e da tecnologia³¹, ainda é uma realidade a ser construída para a maior parte dos alunos.

Pelos elementos encontrados nas pesquisas sobre o mercado da nanotecnologia, sua introdução nanotecnologia no setor produtivo é uma realidade, não mera expectativa tecnológica. Essa tecnologia estaria se inserindo enquanto elemento de inovação industrial, na forma de incremento de produtos existentes e na oferta de novas funcionalidades aos produtos e materiais. O estímulo político ao desenvolvimento da nanotecnologia teve até agora como principal motivador, o uso da tecnologia com vistas a alavancar a competitividade da indústria. Nesse processo, a sinergia de diferentes campos científicos e tecnológicos como forma de potencializar as conquistas de cada campo particular, para a resolução de uma problemática comum, tem orientado os projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. O princípio da interdisciplinaridade tem sido promovido por projetos de pesquisas que converge áreas disciplinares para a resolução de uma problemática comum.

Para o desenvolvimento da nanotecnologia, alguns desafios estão colocados: (i) necessidade de construção de padrões de relacionamento entre os conhecimentos produzidos interdisciplinarmente e rearticulados interdisciplinarmente; (ii) a presença da demanda pela resolução de uma problemática já no início dos projetos; (iii) o sucesso do projeto interdisciplinar depende da capacidade de comunicação inteligível entre os participantes de diversas áreas científicas e tecnológicas; (iv) a discussão das implicações depende da inclusão da diversidade de interesses sociais a respeito do tema, e neste sentido, (v) as demandas educacionais são discutidas enquanto gargalo para a inovação e em menor dimensão, como demanda de oferta de educação de qualidade. Esse gargalo para a inovação se relacionaria com a falta ou escassez de qualificação “necessária” para o desenvolvimento da nanotecnologia.

³¹ Uma análise das iniciativas de educação não formal no campo da Nanotecnologia no Brasil pode ser encontrada na tese de doutorado intitulada *Educação não-formal em mídias: divulgação científica sobre Nanotecnologia* (KORBES, 2013).

Contraditoriamente, observamos que mesmo anunciando a falta de qualificação técnica, a tecnologia vem se desenvolvendo no âmbito da P&D, e mesmo que ainda com baixa representatividade a nanotecnologia tem sido inserida no mercado³².

Aparentemente, o sucesso dos negócios da nanotecnologia não tem dependido da qualificação ampliada ao corpo de trabalhadores da manufatura, ainda que, a expansão das atividades possa induzir que há demanda de diferentes níveis de qualificação técnica ao longo do processo produtivo. Pelos dados encontrados nas pesquisas internacionais, não é possível identificar as características reais dos processos produtivos. Ainda que esses estudos tragam importantes contribuições para o entendimento do perfil do trabalhador é importante acrescentar que as aplicações da nanotecnologia são muito variadas, abrangendo muitos setores industriais, e que há firmas que agregam nanotecnologia a seus produtos, enquanto outras se concentram em fornecer soluções nanotecnologias para outras empresas. É possível, que nos diversos casos, a demanda de experiência prévia, os componentes técnicos e os diferentes níveis de qualificação possam variar.

³² A demanda por maior disponibilidade de força de trabalho qualificada também guarda relação com o valor da força de trabalho para o processo produtivo. Quanto maior a disponibilidade de um tipo de qualificação, maior a probabilidade de barateamento dos custos com esta força de trabalho. A qualificação é elemento constituinte do valor do salário.

CAPÍTULO 3. TRABALHO, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

No capítulo anterior nossa intenção foi apresentar os contornos gerais do fenômeno analisado, bem como, os direcionamentos da discussão sobre demanda de qualificação da força de trabalho para a nanotecnologia. Primeiro, buscamos contextualizar o fenômeno para só então indicar os aspectos teóricos que estruturam esta tese. Portanto, este capítulo tem por finalidade apontar a orientação teórico-metodológica que embasa a análise da relação entre educação, trabalho e tecnologia no contexto de desenvolvimento da nanotecnologia. É por meio do *materialismo histórico dialético* que observamos a inovação industrial, via nanotecnologia, e suas possíveis implicações para a qualificação dos trabalhadores. Os conceitos fundamentais são: *trabalho*, enquanto atividade primeira de transformação do ser social pela manipulação da natureza e transformação de sua própria identidade (MARX & ENGELS, 2008); *tecnologia*, enquanto ampliação da capacidade humana, aprimorada durante os diferentes momentos da história humana, para enfrentar os desafios da vida em sociedade (MARX, 1989; PINTO, 2005; BASTOS, 1997; CARVALHO, 2001) *educação*, enquanto socialização dos indivíduos por meio do acesso ao conhecimento coletivamente elaborado (DURKHEIM, 2011) derivado das condições materiais da existência humana (MARX & ENGELS, 1992).

3.1 ORIENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA: CONCEITOS FUNDAMENTAIS NA PERSPECTIVA DO MATERIALISMO HISTÓRICO DIALÉTICO

Entendendo que a materialidade da sociedade contemporânea é dada pelas relações de sociais e produtivas engendradas pelo modelo capitalista, observamos a relação entre educação e o trabalho pela ótica do movimento do capital na atualidade. Tomando enquanto categoria de análise, o trabalho enquanto princípio educativo, acreditamos que em cada época histórica, as necessidades vindas da produção da existência tem refletividade no modo como a

educação é gestada. Não se tratam de relações lineares, facilmente inteligíveis, constituem-se em relações complexas que caracterizam um projeto pedagógico específico, de determinada fase de desenvolvimento das forças produtivas. Emanado da base material, cada projeto pedagógico materializa as necessidades vindas da produção, explicitando no plano da superestrutura as necessidades educativas vindas da produção da existência. Portanto, não somente no capitalismo é possível identificar um projeto pedagógico alinhavado ao regime de acumulação, trata-se de uma relação de mediação entre trabalho e educação que perpassa diferentes momentos históricos da vida humana (MARX & ENGELS, 2008).

A relação entre o trabalho e a educação é mediada por formas de socialização que transmitem aos indivíduos as estruturas predominantes de pensamento-ação. São maneiras de pensar e agir que emanam das bases materiais de produção da vida e que se explicitam nos processos educativos por meio dos comportamentos desejáveis para a vida em sociedade em um determinado momento histórico (MARX & ENGELS, 2008). Em seu fundamento o trabalho produz o homem e arregimenta a vida em sociedade, uma vez que o torna construtor da realidade por meio da elaboração permanente de si mesmo e das bases materiais de existência (MARX & ENGELS, 2008). Enquanto ente histórico, a humanidade carrega em sua constituição as marcas da prática diária de satisfação das necessidades e as ideias/instituições que delas emanam e alimentam o ciclo de construção de sua história. Os processos de transmissão desse conhecimento cimentam as relações que se estabelecem entre trabalho e sociedade conferindo uma organicidade entre as práticas e as ideias. O quê os indivíduos são, depende das condições materiais da produção da vida (MARX E ENGELS, 2008).

Ao tentar compreender o modo como a humanidade estabelece complexas relações que sustentam a produção das diferentes e entrelaçadas dimensões da vida, tomam-se, por pressuposto, a materialidade para compreender os fenômenos estudados. Ao observar o desenvolvimento das relações jurídicas e das formas de Estado, partes da totalidade social, Marx (2008) pontua que

(...) na produção social da própria existência, os homens entram em relações determinadas, necessárias, independentes de sua vontade; essas relações de produção correspondem a um grau determinado de desenvolvimento de suas forças produtivas materiais. A totalidade dessas relações de produção constitui a estrutura econômica da sociedade, a base real sobre a qual se eleva uma superestrutura jurídica e política e à qual correspondem formas sociais determinadas de consciência. O modo de produção da vida material condiciona o processo de vida social, política e intelectual. Não é a consciência dos homens que determina o seu ser; ao contrário, é o seu ser social que determina sua consciência (MARX, 2008, p. 47).

Não há como concordar, a partir dessa perspectiva, que haveria irreversibilidade ou fim da história, e, portanto a naturalização das relações sociais. Temos condições – materiais e ideológicas – criadas pela sociedade e passíveis de serem modificadas. À medida que se superam as condições que sustentam as relações de um dado momento do modo de produção da vida, novas formas de produção podem ser gestadas. Da mesma maneira, acreditamos que as ideias não são entes fixos no tempo e espaço, modificam-se em sintonia com as transformações das relações de produção que dialeticamente transformam as condições de vida. A educação faz parte desta simbiose superestrutural entre pensar-agir, modificando-se historicamente conforme as alterações na base material de produção da existência. É a partir da ação no mundo que se passa a conhecê-lo, interpretá-lo e transformar aquilo que existe. Esse é o fundamento da *práxis*, atitude humana de transformação da natureza e da sociedade (VAZQUEZ, 1968). Na articulação da teoria e da prática na manutenção e transformação da vida a *práxis* é "(...) prática, na medida em que a teoria, como guia da ação, orienta a atividade humana; e teórica, na medida em que esta ação é consciente" (VAZQUEZ, 1968, p. 117). Para nós, a perspectiva de pesquisa calcada no materialismo histórico dialético proporciona um modelo de pensar-agir que busca não somente conhecer a realidade, mas, sobretudo, contribuir para modificá-la.

Em meio a essa proposta teórico-prática, o conceito de trabalho assume centralidade na compreensão das peculiaridades do ser social por ser a atividade essencial que transforma tanto o homem quanto da a sua condição de existência (LUKÁCS, 1979). Em suas propriedades constituintes, o trabalho é a base de

onde se desdobram as manifestações da vida em sociedade; possui o caráter mediador da relação entre homem/sociedade e natureza, na produção na vida, e da inter-relação entre os homens, no salto qualitativo que transforma o ser biológico, em ser social³³ (LUKÁCS, 1979). Fundamental na criação de utilidades para a existência humana, o trabalho independe das relações sociais para existir, ainda que assuma diferentes valorações, é mediador essencial na relação do homem com a natureza. Ainda que cada período histórico construa relações que trabalho que podem obscurecem essa essência, de atividade vital na existência e sociabilidade humana, o trabalho é a fonte primeira de observação, interpretação e elaboração de conhecimento sobre a sociedade.

Na reconstrução diária das condições de existência, que modela as relações históricas de produção da vida material, é constituída a *consciência social*. A partir da base material, as ideias que interpretam as relações sociais informam aos indivíduos as ideias predominantes que norteiam uma sociedade – uma ideologia. A capacidade intelectual, conjuntamente constituída com o desenvolvimento do corpo físico, compõe a integridade do ser social. É a partir da sua existência individual e coletiva que homens e mulheres conhecem o mundo que vivem. Estar em sociedade pressupõe que certas relações sociais compactuadas coletivamente sejam transmitidas as diferentes gerações e que garantam a coesão *suficiente* para a manutenção da vida social. Neste sentido, essencialmente, a educação tem papel central na sociabilidade humana enquanto mediadora da estrutura de conhecimento da vida social entre o indivíduo e a coletividade. Portanto, a educação constitui-se enquanto prática social determinada materialmente (SAVIANI, 2004, p.15).

A capacidade intelectual de compreender, tanto as condições de existência e quanto de modificar a realidade, é característica intrínseca ao ser humano. É com o desenvolvimento das sociedades, principalmente com a divisão social do trabalho, que o *pensar* e o *fazer* vão sendo atribuídas a diferentes grupos

³³ Lukács (1979) ressalta o mérito de Engels em colocar o trabalho como *centro da humanização do homem*, certamente referindo-se ao texto *O Papel do Trabalho na Transformação do Macaco em Homem*, escrito por Friederich Engels em 1876.

sociais³⁴. No caso da sociedade contemporânea, a divisão do trabalho engendrada pelo capitalismo, continua sendo o substrato sobre o qual se desenvolvem tanto o fenômeno social da educação quanto o trabalho. Pela apropriação privada dos meios de produção pelo capital, a classe geradora de valores de uso, nas relações sociais de trabalho capitalistas, é impelida a colocar *a venda* a propriedade que lhe restou: sua força de trabalho. O capital necessita desse tipo de força de trabalho, para produzir sua principal finalidade: a mais-valia (lucro). Sob a lógica do trabalho capitalista, a força de trabalho passa a ser valorizada como força indistinta, independente dos valores de uso que cria. A qualificação técnica adquirida pelo trabalhador para produzir coisas úteis, é comparada com outras tantas diferentes qualificações, sendo quantificada na forma de salário conforme a quantidade necessária de recursos para a sobrevivência e ainda, o valor social atribuído historicamente a cada atividade.

Do trabalhador artesanal que possuía domínio-conhecimento sobre o processo de trabalho para produzir um determinado produto, passamos a um modelo de trabalho parcelar, que se utiliza de diferentes qualificações técnicas para a produção de produtos-serviços, com vistas a se obter lucro. O trabalho e o conhecimento sobre o processo, antes indissociáveis, passam a caber a pessoas diferentes e são progressivamente incorporados ao maquinário. Atualmente, a informática, a microeletrônica e os sistemas de gestão, complexificaram o sistema parcelar de trabalho da fábrica, aprofundando a incorporação do conhecimento e habilidade do trabalho. Para a força de trabalho, há um confronto diário entre atividade do trabalho e parcialização do conhecimento, muitas vezes objetivados na forma de máquinas e programas de informática.

Essas mudanças nas relações de trabalho – do trabalhador artesanal ao trabalhador assalariado – trouxeram impactos para a qualificação requerida. A *sociologia do trabalho* é uma das áreas que empreende esforços para compreender como mudanças na produção podem trazer impactos no *tipo* de

³⁴ Neste caso não há intenção de fazer um retrospecto histórico de como as classes de intelectuais foram sendo constituídas, aponta-se somente que a capacidade intelectual é característica humana irrestritamente. A constituição histórica de diferentes tipos de intelectuais pode ser encontrada no Caderno 12 dos escritos de cárcere de Antônio Gramsci (2004).

trabalhador desejável pelo capital para os processos de trabalho³⁵. Em linhas gerais, a educação ou o treinamento recebido para o trabalho, confere destreza e habilidade para uma atividade laboral. É o que caracteriza um tipo de trabalhador: suas qualidades para o trabalho (MARX, 1989, p. 192). Constituintes da qualificação – o valor social das atividades, seus diferentes modos de execução e duração da formação – fazem parte da *relação social complexa* que determina a qualificação para o trabalho em um determinado momento histórico (NAVILLE, 1973). Para nós as qualidades requeridas para o trabalho e o valor social a elas relacionado decorrem de mudanças nas relações produtivas de trabalho. O trabalhador adquire por meio da qualificação técnica a capacidade de desenvolver atividades laborais, que se relacionam diretamente às formas de trabalho vigentes. Os diferentes currículos, cursos, níveis de ensino e diferenciação de carreiras constituem parte da estrutura para a qualificação para o trabalho, mas, os jogos de poder entre as profissões, as estratégias de precarização e valorização dos empregos complementam o conjunto de elementos que constituem o modelo de qualificação de uma época.

Para o modelo de produção capitalista os processos de disciplinamento, constituídos por um projeto pedagógico de específico cada época, adquirem importância vital por colocar, à disposição do capital, grande quantidade de trabalhadores que tenham assimilado o modelo de trabalhador desejado. Para além do portão da fábrica prolonga-se uma divisão social e técnica que qualifica as pessoas enquanto passíveis ou não de serem incorporados ao sistema de produção capitalista. Há uma reprodução do modelo dominante, tanto técnico quanto ideológico. O sistema de ensino, arregimentando pelo modelo institucionalizado da escola, objetiva a qualificação da força de trabalho à medida que tem sucesso em integrar os indivíduos no sistema de produção (MASPERO,

³⁵ Como por exemplo, nos estudos sociológicos franceses: “A constituição da sociologia francesa do trabalho, nos anos (19)50, se deu em torno da constatação de uma mutação na sociedade e na civilização, para a qual as transformações do trabalho desempenhavam um papel estruturador. Sejam elas analisadas essencialmente como passagem da “civilização natural” para a civilização “técnica” (Friedmann), do “sistema profissional” para o “sistema social de produção” (Touraine), ou do “trabalho mecanizado” para o “trabalho automatizado” (Naville), essas transformações modificaram tanto a organização do trabalho industrial quanto a relação do trabalhador para com o trabalho” (DUBAR, 1999, p. 2).

1992). O custo para os indivíduos: uma educação parcial com características de disciplinamento.

Disponer de grandes quantidades de trabalhadores disciplinados aumenta a possibilidade das melhores escolhas. Quanto maior a disponibilidade e concorrência entre os trabalhadores, menor o preço da mercadoria *força de trabalho*. A contradição: não há eficácia em se apropriar dos “não qualificados” para dar movimento ao sistema produtivo. Portanto, algum nível de distribuição de conhecimento e de domínio cognitivo sobre a produção é requerido. Ao buscarmos aproximar a discussão da divisão do trabalho com o modelo de ensino não cumprimos uma formalidade, tampouco a tratamos como causa-consequência. Trata-se de uma relação profunda que clareia o entendimento dos processos educativos e aponta para pontos necessários para exercer pressão em direção ao interesse da classe trabalhadora (MASPERO, 1992). Um modelo de educação integral, que não vise somente os conhecimentos e habilidades para o trabalho assalariado, tem como ponto inicial a posse do conhecimento histórico-científico. Para o cidadão contemporâneo não basta saber repetir hora após hora uma mesma tarefa. O uso cada vez mais intenso da ciência e da tecnologia, inclusive para explicar a própria vida, demanda níveis mais complexos de conhecimento para uma educação verdadeiramente democrática e emancipatória. Pelo lado do sistema produtivo a realidade não é diferente. Aumentou a complexidade das relações de trabalho, e, além disso, ciência e tecnologia são cada vez mais forças produtivas importantes para o capital. A demanda pelo raciocínio cientificamente orientado parte tanto de uma sociedade que cada vez mais se explica pelo intermédio da ciência, quanto de processos produtivos que cada vez mais dependem da tecnologia para gerar competitividade e lucro. No próximo item deste capítulo tratamos de alguns destes elementos.

3.2 ASPECTOS DA RELAÇÃO ENTRE TRABALHO, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

Tratamos a relação entre *educação e trabalho* partindo do pressuposto de que as bases materiais de produção influenciam o projeto pedagógico de uma determinada época. Para a qualificação para o trabalho as modificações na base técnica produtiva provocam alterações nos conteúdos técnicos, o valor atribuído à força de trabalho e o tipo de trabalhador requerido para o modelo produtivo de uma época. No caso do capitalismo, uma das características fundamentais da educação formal é a mediar um conhecimento que possibilite aos futuros trabalhadores serem empregáveis na produção com vistas ao lucro. Para o capital a educação é uma variável a ser considerada na manutenção da disponibilidade de trabalhadores qualificados para alimentar o sistema produtivo. A falta de trabalhadores qualificados significa um obstáculo para a acumulação, pois retira do mercado a principal força de manutenção dos lucros. O capital tem criado sucessivas estratégias de manutenção dos níveis de acumulação e tem obtido sucesso na contenção das crises (SAVIANI, 2004). Na dinâmica atual de acumulação do capital, a ciência e a tecnologia têm desempenhado papel importante enquanto força produtiva. A crescente incorporação desses dois elementos ao processo impulsiona e revitaliza os níveis de lucratividade e competitividade, principalmente nas economias centrais.

A resseção das economias centrais que se iniciou em 2008, crise mais recente do capital, teve como característica a queda da realização do valor, ou seja, o sistema de produção teve a capacidade de gerar valor diminuído. Segundo Dagnino (2009, p. 167) a crise de 2008 foi “(...) amplificada por aspectos econômico-produtivos associados ao processo de globalização e interpenetração dos mercados”. Esses aspectos dizem respeito à incorporação crescente de trabalhadores precariamente remunerados, a pressão que as mercadorias produzidas por esses trabalhadores, principalmente chineses, exercem no custo de reprodução da força de trabalho, o aumento do lucro concentrado em países como a China que hoje detém cerca um trilhão de dólares aplicado em títulos do governo norte-americano (DAGNINO, 2009, p. 168), além da crise financeira que derrubou a oferta de crédito. A queda no lucro e a falta de disponibilidade de crédito afetam diretamente o fluxo do capital, caracterizando uma crise do sistema em sua capacidade de realizar valor. Para a continuidade do fluxo do capital,

empréstimos, financiamentos e disponibilidade de crédito foram algumas das medidas tomadas na tentativa de recuperar a “saúde” das economias. Para o setor produtivo uma das alternativas é diferenciar-se no mercado internacional por meio de inovações. Harvey (2011) analisando as barreiras para a acumulação e a tendência de crise do capital destaca o papel das tecnologias e das novas formas organizacionais na superação da crise. A continuidade do fluxo de capital é fator essencial na obtenção do lucro, todos aqueles que conseguem fazer a *roda da circulação do capital* girar mais rapidamente podem alcançar lucros superiores em relação aos concorrentes (HARVEY, 2011). Esse é um dos motivos da busca constante por inovações e soluções tecnológicas que permitam aperfeiçoar os sistemas produtivos e gerar um diferencial concorrencial.

A pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias produtivas não se dá pela livre vontade do empresariado, o reinvestimento é uma questão de sobrevivência no mercado: se não reinvestir em expansão das atividades, certamente outro empresário o fará, e possivelmente, depois de um tempo, haverá declínio nos lucros ou a falência do negócio (HARVEY, 2011, p.42-46)³⁶. A pressão constante pela acumulação do capital testa os *limites inerentes ao capital* e a superação da concorrência é uma delas. A continuidade do fluxo do capital depende da capacidade de manter a lucratividade, colocando a procura constante por inovações e soluções tecnológicas (HARVEY, 2011). Essa foi, por exemplo, a estratégia adotada na crise de 1970: modificações profundas na base técnica e alterações na organização do trabalho. O modelo de produção em massa, modelo hegemônico até a década de 1970, chegou ao limite de suas forças produtivas com a saturação do mercado e a limitação de recursos disponíveis para investimentos. Uma das alternativas foi à oferta diferenciada de produtos, contrapondo-se a padronização indiferenciada da produção em massa.

³⁶ Para os objetivos desta pesquisa não cabe aqui analisar os fatores que levaram a crise de 2008 e a prospecção dos impactos da recessão financeira para o sistema produtivo brasileiro. No entanto, o texto de Harvey (2011) traz considerações importantes sobre a natureza do problema (centro da crise) que contextualizam as relações atuais do capitalismo global. O autor cita, por exemplo, que as medidas tomadas pelas políticas nacionais como resposta a crise financeira atendem uma parte elitizada da classe capitalista e que mesmo na crise, muitas pessoas conseguiram acumular riqueza. A riqueza e o poder teriam se tornado ainda mais concentrados no contexto norte-americano; essa estrutura que controla a política é denominada pelo autor como o “Partido de Wall Street”, devido à influência que possuem nas decisões políticas do governo americano.

Nas relações de qualificação era fundamental para o trabalhador possuir destreza, boa memória e capacidade de repetir tarefas delimitadas. A rigidez da maquinaria e a gestão organizada em tempos e movimentos demandavam um tipo de trabalhador adaptado a esse trabalho.

Esse modelo de relações sociais de trabalho começa a dar sinais de enfraquecimento de sua capacidade de manter a lucratividade que vigorou até o pós Segunda Guerra mundial. A crise do capital foi marcada por características sociais, políticas e econômicas que teve como cerne a crise do petróleo e quebra de relações que mantinham um pacto fordista de trabalho³⁷. Entra em cena um conjunto de experiências industriais, que orientadas pela concepção neoliberal da economia, procuram dar novo fôlego ao processo de acumulação do capital. Paulatinamente o paradigma tecnológico vai sendo substituído³⁸ pela tecnologia da microeletrônica e formas de organizar o trabalho que visaram dar flexibilidade em detrimento da rigidez do modelo fordista-taylorista. Flexibilizar os processos de trabalho, as relações econômicas de trabalho e a oferta de produtos tornaram-se atitudes chaves para as empresas que desejassem recuperar/manter a competitividade em um cenário mundial marcado pela entrada de novos atores econômicos, principalmente vindos do Oriente.

No âmbito educacional, a habilidade fundamental a ser desenvolvida *era* a memorização, oscilando entre a racionalidade formal e técnica, estruturando um modelo pedagógico que divide pensamento e ação (KUENZER, 2011, p. 44). Orgânica as demandas de produção que dividiam as atividades operacionais das intelectuais, a *pedagogia que vinha da fábrica* privilegiou a organização dos conteúdos curriculares organizados pela lógica formal de compartimentalização da ciência, em que cada objeto do conhecimento originaria uma especialidade e pouco estabeleciam relações com as demais áreas do conhecimento, metodologias ou relações sociais (KUENZER, 2011, p. 45).

³⁷ Um texto de referência para a transição do paradigma fordista para o modelo da acumulação flexível pode ser encontrado no livro “A condição pós-moderna” por David Harvey.

³⁸ Mas não eliminado, visto que muitas empresas operam com baixo uso de tecnologias de processos apoiados pela organização de trabalho repetitiva de massificada.

Compreender os movimentos necessários a cada operação, memorizá-los e repeti-los ao longo do tempo não exige outra formação escolar e profissional a não ser o desenvolvimento da capacidade de memorizar conhecimentos de repetir procedimentos em uma determinada sequência. A pedagogia, em decorrência, propõe conteúdos que, fragmentados, organizam-se em sequências rígidas. Tendo por meta a uniformidade de respostas para procedimentos padronizados, separa os tempos de aprender teoricamente e de repetir procedimentos práticos e exerce com rigor o controle externo sobre o aluno. Esta pedagogia responde adequadamente às demandas do mundo do trabalho e da vida social, que se regem pelos mesmos parâmetros das certezas e dos comportamentos que foram definidos ao longo do tempo como aceitáveis (KUENZER, 2011, p. 45).

A questão não era/é viabilizar ao aluno apropriar-se do conhecimento pela integração entre conteúdo e método, proporcionando domínio cognitivo das práticas sociais e produtivas, mas sim, repetir em cada ano da vida escolar uma forma linear e fragmentada de acesso ao conhecimento que favorecem antes a memorizar do que a apropriação. As políticas educacionais que estivessem de em coerência com o novo modelo tornaram-se fundamentais para dar organicidade ao processo de reestruturação da produção. Como a tentativa de ruptura com a massificação, outro projeto pedagógico passa a ser gestado para atender o tipo de organização de trabalho fundamentado na oferta diferenciada de produtos, na reorganização dos postos de trabalho para equipes de trabalho, na utilização de novas tecnologias de automação e no desenvolvimento do domínio de diferentes de linguagem, de comunicação e raciocínio lógico-formal³⁹. O modelo implantado foi o da acumulação flexível

[...] marcada por um confronto direto com a rigidez do fordismo. Ela se apoia na flexibilidade dos processos de trabalho, dos mercados de trabalho, dos produtos e padrões de consumo. Caracteriza-se pelo surgimento de setores de produção inteiramente novos, novas maneiras de fornecimento de serviços financeiros, novos mercados, e, sobretudo, taxas altamente intensificadas de inovação comercial, tecnológica e organizacional (HARVEY, 1993, p.12).

³⁹ “O novo discurso refere-se a um trabalhador de novo tipo, para todos os setores da economia, com capacidades intelectuais que lhe permita adaptar-se à produção flexível. Dentre elas, algumas merecem destaque: a capacidade de comunicar-se adequadamente, por intermédio do domínio dos códigos e linguagens, incorporando, além da língua portuguesa, a língua estrangeira e as novas formas trazidas pela semiótica; a autonomia intelectual, para resolver problemas práticos utilizando os conhecimentos científicos, buscando aperfeiçoar-se continuamente; a autonomia moral, por meio da capacidade de enfrentar novas situações que exigem posicionamento ético; finalmente, a capacidade de comprometer-se com o trabalho, entendido em sua forma mais ampla de construção do homem e da sociedade, por meio da responsabilidade, da crítica, da criatividade (KUENZER, 2011, p. 45)”.

Concordamos com Kuenzer (2011) ao afirmar que o movimento não foi inteiramente novo, pois se tratou da intensificação do processo histórico de globalização da economia capitalista, com novas características de aprofundamento tecnológico, descoberta de novos materiais e forma de gestão do trabalho. As macro-estratégias de internacionalizar a economia e reestruturar a produção para manter a competitividade, seriam as responsáveis pelo padrão de acumulação flexível do capital (KUENZER, 2011). Apoiados na crescente incorporação da ciência e de tecnologia, as mudanças no processo produtivo se tornam cada vez mais dinâmicas, tornando a busca por novos materiais, equipamentos e sistemas de comunicação mais rápidos e eficientes, a chave para inovação e competitividade. Reestruturou-se a linha de montagem para a organização do trabalho por células de produção, foram introduzidos sistemas informatizados de comunicação interna e externa para dar mais agilidade e eficácia aos processos, inseriu-se o controle de qualidade contínuo, mas também, modificou-se a demanda de qualificação para o trabalho flexível (KUENZER, 2011). Esse trabalhador deveria estar apto a desenvolver atividades tendo em vista a incorporação da auto-supervisão, do controle de qualidade contínuo, da comunicação com a equipe de trabalho e ainda, possuir maiores conhecimentos científicos e tecnológicos para operar um processo produtivo mais complexo (KUENZER, 2011).

Entendemos que a qualificação solicitada tem por fundamento ideológico o *modelo da competência*. A educação para o trabalho com base na memorização e repetição teve o eixo deslocado para uma formação que desenvolvesse conhecimentos, capacidades cognitivas e comportamentais adaptadas aos aspectos: das oscilações do mercado, da busca da educação continuada e da competitividade individual e coletiva. Do ponto de vista da organização do trabalho, o modelo de gestão pela competência tem por foco a mudança comportamental em relação ao trabalho e sua gestão. A qualificação diz respeito mais aos atributos do indivíduo do que uma característica relacionada ao posto de trabalho. Só é possível concretizar as competências na atividade prática do trabalho, ou seja, além dos conhecimentos técnicos para o trabalho, ser

competente, na ótica desse modelo, é *tomar a iniciativa, assumir a responsabilidade* diante das diferentes situações que podem surgir no ambiente de trabalho, individual e coletivamente, por intermédio de uma *inteligência prática* que reflete sobre a atividade. Essas são as principais características do modelo da competência e a partir dela observamos o fenômeno estudado nesta tese.

Além das mudanças nas bases materiais de produção, houve um grande esforço de modificação da dimensão conceitual em relação à educação. Procurou-se substituir a noção de qualificação relacionada à destreza requerida para um posto de trabalho, para adotar-se a noção de competência também na escola. Entendemos que a maior escolarização passou a ser visada pelo capital ideologicamente como investimento em um bem, relacionada principalmente o retorno econômico da qualificação. A partir de uma nova base material do trabalho novas concepções a respeito da qualidade do trabalho e do acesso a educação foram construídas para que as relações sociais de produção se consolidassem enquanto processo natural de desenvolvimento social. Ficou marcado o empenho conjunto, das políticas de educação e das iniciativas de inovação e recrutamento das empresas, enquanto tentativa de consolidação de novas relações de trabalho, formas de gestão e o do sistema educativo com vistas a romper com o padrão produtivo orientado pelo taylorismo-fordismo. Concordamos com a afirmação de que a *noção de competências* passa a reestruturar, as demandas profissionais, a avaliação de planos de salários e carreiras, e se coloca como estruturadora dos modelos pedagógicos escolares (ROPÉ & TANGUY, 1997).

Um novo processo de disciplinamento é posto em movimento no processo de reestruturação da produção via acumulação flexível; uma “(...) pedagogia dominante, orgânica as formas de divisão social e técnica do trabalho e da sociedade” (KUENZER, 2004, p. 83). Em síntese, o processo de disciplinamento no momento histórico da acumulação flexível do capital exige para seu sucesso

(...) a memorização de procedimentos - necessária a um bom desempenho em processos produtivos rígidos - passa a ser substituída pela capacidade de usar o conhecimento científico de todas as áreas para resolver problemas novos de modo original, o que implica domínio não só de conteúdos, mas dos caminhos metodológicos e das formas de trabalho

intelectual multidisciplinar, o que exige educação inicial e continuada rigorosa, em níveis crescentes de complexidade. A essa competência científico-tecnológica articula-se a demanda por competência ética, na dimensão de compromisso político com a qualidade da vida social e produtiva. Ao mesmo tempo exigem-se novos comportamentos, em decorrência dos novos paradigmas de organização e gestão do trabalho, onde as práticas individuais são substituídas por procedimentos cada vez mais coletivos, onde se compartilham responsabilidades, informações, conhecimentos e formas de controle, agora internas ao trabalhador e ao seu grupo (KUENZER, 2004, p. 86-87)

A pedagogia em curso se apropria do ponto de vista do capital, das concepções socialistas de um projeto pedagógico de emancipação social e humana, um *cipoal* que necessita ser desemaranhado (KUENZER, 2004, p. 78). No discurso, o modelo da competência, pela interpretação da teoria do capital humano, é o *oásis* almejado para a classe trabalhadora: valoriza a autonomia frente à prescrição rígida e hierárquica de atividade, demanda pela ampliação da oferta educacional e melhor qualidade dos conhecimentos necessários operar uma base técnica cada vez mais complexificada pelo uso da ciência e da tecnologia, valoriza a subjetividade do trabalhador enquanto elemento componente do trabalho e resgata a divisão entre teoria e prática. Enfim, uma orientação educacional e um tipo de trabalho que seria capaz de desenvolver todas as dimensões humanas.

Entendemos que essa valorização da subjetividade do trabalhador e o reconhecimento da necessidade da ampliação da escolaridade dizem respeito ao movimento de superação de obstáculos decorrentes da fragmentação do trabalho que trazem impactos diretos aos ganhos de produtividade. No momento em que se busca eliminar todas as formas de desperdício, a recomposição da unidade entre teoria e prática no ambiente de trabalho constitui-se não forma de minimizar as consequências negativas da divisão do trabalho para o trabalhador, mas sim, ampliar as possibilidades de valorização do capital (KUENZER, 2004; HARVEY, 2011). A maior parte dos trabalhadores no sistema flexível de produção desempenha tarefas repetitivas e sem autonomia, muito próximas à base técnica da produção em massa. Houve, contudo modificações na gestão que ampliaram a vigilância do trabalhador sobre as máquinas e os sistemas informatizados, operando com o uso intensivo de trabalhadores, devido enxugamento do quadro empregado (GOUNET, 1999). A reconstituição enviesada da unidade do trabalho

para a perspectiva do capital teve por finalidade superar alguns limites da divisão técnica do trabalho, não a superação da divisão entre meio de produção e trabalhadores (KUENZER, 2004). A noção de competência, da forma como é desenvolvida hoje nos conteúdos escolares e a na atividade do trabalho, supõe que seja possível ao aluno e ao trabalhador controlar todas as variáveis nas diferentes situações escolares e de trabalho. Uma ambição megalomaniaca que ultrapassa não somente as atribuições da escola, mas o tempo escolar (KUENZER, 2009).

No mercado de trabalho são praticadas formas de recrutamento meritocráticas que privilegiam a posse de *diplomas*, dificultando a contratação daqueles que possuem baixos níveis de escolaridade. A centralização no indivíduo, na valorização da carreira, privilegiam práticas de controle como as avaliações anuais, o portfólio, a avaliação individual de competências para a mobilidade na carreira. Os critérios de avaliação de desempenho primam pela capacidade individual de mobilizar atitudes comportamentais em prol da empresa como índice de eficiência. O enfraquecimento do trabalhador enquanto classe é imediato à medida que a carreira depende em grande medida da automobilização do trabalhador, enfraquecendo a identidade entre os trabalhadores e as lutas por planos salariais coletivos pela suposta diluição de quadros fechados de identificação hierárquica e profissional (DUBAR, 1999).

Esse "modelo da competência" vai de par com uma concepção que transforma a empresa - que compartilha cada vez mais as mesmas referências que o sistema escolar e mais ainda os mesmos modos de seleção - numa instância de socialização que garante ao mesmo tempo a "mobilização" dos assalariados para seus objetivos e o domínio dos critérios de reconhecimento identitários. A meta crucial aqui é a de garantir a construção, a valorização e o reconhecimento de uma identidade de empresa que permita ao mesmo tempo a mobilização psíquica e o reconhecimento social, o que implica a desvalorização ou a neutralização das outras formas identitárias salariais oriundas do período precedente (identidades de categorias ou de fora-do-trabalho) ou construídas fora da empresa em bases individualistas (identidades de afinidades ou de rede). A noção de competência serve, nessa perspectiva, para significar o caráter fortemente personalizado dos critérios de reconhecimento que devem permitir recompensar cada um em função da intensidade de seu empenho subjetivo e de suas capacidades "cognitivas" em compreender, antecipar e resolver os problemas de sua função que são também os de sua empresa (DUBAR, 1999, p. 6).

Para as atuais relações de qualificação há uma clara apropriação das capacidades cognitivas dos trabalhadores, marcado fortemente pelo envolvimento da subjetividade operária (ANTUNES, 2004, p. 42). Os trabalhadores não experimentam a recomposição prometida da unidade no exercício diário do trabalho. As atividades de concepção e execução que poderiam ser exercitadas pela apropriação metodológica do processo de produção do conhecimento e da intervenção real nos processos de trabalho (KUENZER, 2004) não assumiu o lugar das tarefas controladas e repetitivas. Para grande parte da classe trabalhadora o trabalho assalariado no modelo flexível assume a face da intensificação e precarização, pela ampliação das tarefas, pela fragmentação do mercado de trabalho, pelas formas precárias de contratação e inserção na cadeia de valor e pela crescente objetivação do gerenciamento autônomo do maquinário. No mercado de trabalho brasileiro as relações de trabalho e a oferta educacional, como propõe Kuenzer (2004), são marcadas pela *exclusão-includente* do ponto de vista do mercado e pela *inclusão-excludente* do ponto de vista da educação: de um lado exclui-se o trabalhador do mercado de trabalho formal para seu reaproveitamento estratégico, em condição *extra explorada* de trabalho – terceiros, informais, domiciliares, ilegais (infantil, imigrante, escravo, etc.) – enquanto fato de competitividade pela precariedade. A mesma cadeia produtiva o capital articula trabalhadores com pouca escolaridade, qualificação profissional e precárias condições de trabalho com trabalhadores de alto nível de escolaridade e capacitação laboral, que estrategicamente estão distribuídos na produção. Na trajetória escolar, ampliasse a inclusão nos diversos níveis e modalidade de educação, mas ao longo da vida escolar, os conhecimentos adquiridos não possuem qualidade suficiente para o desenvolvimento intelectual autônomo (KUENZER, 2004).

Nesse sentido, as relações entre educação e trabalho na contemporaneidade demonstram grande organicidade entre relações de trabalho e projeto pedagógico. Convivem em um mesmo processo produtivo trabalhadores com pouco acesso ao conhecimento e trabalho esvaziado de conteúdo com outros, altamente qualificados, em pontos estratégicos no processo de produção. Para a classe trabalhadora a escola continua a ser o espaço em que o

conhecimento é socializado, ainda que a qualidade seja baixa em termos de autonomia intelectual e apropriação do conhecimento científico. A demanda por conteúdos cientificamente embasados e historicamente contextualizados faz parte da contradição para o capital entre a necessidade de maior compreensão da ciência e da tecnologia, enquanto elementos explicativos da sociedade e dos processos de trabalho, e os arranjos estratégicos da qualificação dos trabalhadores.

No próximo capítulo avançamos em direção a pesquisa empírica da tese, destacando como a política para a nanotecnologia tem se desenvolvido no Brasil e apresentando o histórico do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia, de um dos espaços de discussão dessa tecnologia. O objetivo é compreender quais são os principais interesses políticos no incentivo da nanotecnologia no Brasil e como a temática é abordada nacionalmente do ponto de vista da educação e do trabalho.

CAPÍTULO 4. NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: A INICIATIVA NA POLÍTICA GOVERNAMENTAL E O FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DE NANOTECNOLOGIA

Neste capítulo apresentamos uma perspectiva sobre as iniciativas de desenvolvimento da nanotecnologia, a partir da análise das ações governamentais para a promoção da tecnologia no Brasil. Além de elementos das políticas públicas, buscamos, nas discussões do *Fórum de Competitividade de Nanotecnologia*, compreender como diferentes atores têm se posicionado sobre o tema. O histórico construído neste capítulo teve por base as atas públicas das reuniões realizadas entre 2009-2012, e a observação participante de 2011-2013⁴⁰. De modo geral, o Fórum coloca-se como importante espaço de fomento de discussões que podem embasar as políticas públicas do país, principalmente por estar aberto a diferentes setores da sociedade com suas visões sobre os rumos do desenvolvimento da tecnologia. Os caminhos escolhidos para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil indicam que as iniciativas de inovação tecnológica industrial têm sido o horizonte para os incentivos governamentais, com vistas a aumentar a competitividade das empresas e renovar a desenvolvimento econômico.

4.1 INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

O planejamento das ações para o desenvolvimento da nanotecnologia e nanociências no Brasil inicia, segundo dados do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), em novembro de 2000 com

⁴⁰ Durante o ano de 2011 as observações se deram em duas reuniões do Fórum e em um evento: 1º *Workshop Nanotecnologia: da ciência ao mundo dos negócios*; em 2012 a observação se deu em uma reunião com apresentação de resultados dos dados coletados em parceria com o Fórum; em 2013 a observação se dá no evento 3º *Workshop Nanotecnologia: da ciência ao mundo dos negócios* que incluiu em sua programação as atividades do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia.

um primeiro encontro de pesquisadores brasileiros da área (CGEE, 2004, p. 117)⁴¹. Na ocasião do encontro, a finalidade era a criação de um *comitê* para preparar um documento com propostas para subsidiar a ação coordenada para a área da nanotecnologia e nanociências, uma vez que a pesquisa teórica e experimental no país estava sendo desenvolvida pela iniciativa individual de grupos de pesquisa e não fazia parte da agenda governamental para a ciência e tecnologia brasileira (CGEE, 2004, p. 116 -117). O documento produzido pelo comitê foi divulgado pelo CNPq em 2001 e continha um panorama da área no Brasil. O documento sugeria ao MCTI e ao CNPq a criação de um programa de apoio para a nanotecnologia e que fosse aproveitada da infraestrutura e grupos de pesquisa existentes (KNOBEL, 2002). O programa deveria, em longo prazo, criar centros e redes de excelência, além de apoiar a pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia, com objetivo de fornecer resultados para as áreas: tecnologias da informação, fabricação de componentes metálicos e não metálicos, medicina e saúde, meio ambiente e energia, nanoeletrônica, nanobiotecnologia, agricultura e metrologia (KNOBEL, 2002).

O CNPq atendeu a demanda do documento elaborado pelo comitê com a chamada pública para a formação de redes de nanotecnologia e nanociências, em áreas pré-selecionadas. Das 28 propostas recebidas foram selecionadas quatro para atuar em cooperação, inicialmente seguintes áreas: materiais nanoestruturados; nanotecnologias moleculares e de interfaces; nanobiotecnologia; e, nanodispositivos semicondutores e materiais nanoestruturados (CGEE, 2004, p. 118). Contudo, segundo Knobel (2002), cada rede teve um aporte financeiro de cerca de 750 mil reais, valor considerado limitado tendo em vista a quantidade de pesquisadores envolvidos em cada rede e os custos dos equipamentos necessários para a pesquisa. O resultado pretendido com a criação das redes era criar e consolidar as seguintes competências nacionais para a área: identificar os grupos e instituições de pesquisa que desenvolviam ou com potencial de desenvolver projetos em nanotecnologia, estimular a articulação desses grupos/instituições com empresas

⁴¹ Um histórico bastante detalhado das ações primeiras na área de N&N pode ser encontrado na obra indicada como referência destas informações de autoria do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

interessadas ou atuantes no setor da nanotecnologia, bem como, intercâmbio com centros de referência nacional e internacional (KNOBEL, 2002).

Além das redes, dentre as iniciativas para o incremento da pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia e nanociências, o Instituto de Nanociências de Minas Gerais foi selecionado para compor outro programa, o dos Institutos do Milênio⁴² (CGEE, 2004, p. 117). O documento elaborado pelo comitê indicava a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) como financiadora de bolsas de doutorado para a nanotecnologia e nanociências, ação que foi tomada em 2002 com o lançamento do Programa Nacional de Nanotecnologia. Foram concedidas seis bolsas de doutorado pleno para o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron - LNLS, com vigência de 2004 a 2007 (CAPES, 2005). Também em 2002, o MCTI recebe o documento com a proposta para criação de Centros Nacionais de referência em nanotecnologia, elaborado por Cylon Golçalves (CGEE, 2004). No segundo semestre de 2002, os coordenadores das redes e do Instituto do Milênio em Nanociência se reuniram no CNPq (CGEE, 2004).

Em 2003 foi criada a *Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia* e também instituído o Grupo de Trabalho em Nanotecnologia (GT-N&N). O objetivo era subsidiar a construção do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia no Brasil, no âmbito do Plano Plurianual de governo⁴³ (MCTI, 2003; MCTI, 2006). Naquele mesmo ano foi realizada uma consulta pública a respeito do conteúdo do documento resultante do GT-N&N, em que foi considerado que o documento estava bem elaborado e mostrava de forma adequada a abrangência da nanotecnologia. A consulta pública considerou positiva a estruturação *descentralizada* do programa em Redes e Laboratórios (MCTI, 2004). Do lado das críticas, os entrevistados na consulta pública, indicaram que faltava ao programa: abarcar os possíveis

⁴² “Desde finales de la década de 1990, el BM y otras instituciones han previsto la creación de una red global de Iniciativas Científicas del Milenio (ICM). Fueron concebidas como centros de excelencia en los países en desarrollo con el propósito de promover la investigación en C&T com el mismo nivel de la infraestructura y recursos que existen en los países desarrollados” (FOLADORI *et. al*, 2012, p. 335). No Brasil a execução ficou a cargo do CNPq.

⁴³ O grupo de trabalho responsável pelo documento foi criado em 2003, pela portaria MCTI nº 252, e foi composto por integrantes de diferentes instituições de ensino, pesquisa e financiamento.

impactos socioambientais, definir as áreas prioritárias com base na análise da infraestrutura disponível, do fator humano e interesse das empresas, para definir em quais áreas o Brasil seria competitivo; além da discordância da implantação de centros de tecnologia de silício e microeletrônica, como parte do programa da nanotecnologia (MCTI, 2004). O documento elaborado pelo GT-N&N serviu como subsídio para o início do *Programa de Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia*, dentre as atividades do Programa Plurianual (PPA - Plano Brasil de Todos) do governo brasileiro nos anos de 2004-2007, correspondentes ao primeiro mandato do governo Lula.

Nesse documento, a nanotecnologia foi apontada como importante atividade de P&D e inovação dos países industrializados, e caracterizada enquanto tecnologia que explora as propriedades especiais “(...) da matéria organizada a partir de estruturas nanométricas” (MCTI, 2003, p. 01). Houve a ressalva, no entanto, “(...) que não se trata de uma descontinuidade tecnológica ou de uma nova tecnologia radicalmente nova, mas sim, de uma acelerada evolução do conhecimento e do domínio humano sobre a matéria” (MCTI, 2003, p. 01). A nanotecnologia foi identificada naquele PPA, como área portadora de futuro e com potencial de desenvolvimento, junto a outras áreas como softwares, biotecnologia, fármacos, medicamentos e bens de capital. Seriam atividades que demandam elevada complexidade de conhecimento científico e tecnológico que podem trazer ao país, vantagens competitivas no mercado internacional (BRASIL, 2003).

Em 2005 foi realizado o anúncio do Programa Nacional de Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia durante a visita do presidente Luís Inácio Lula da Silva ao LNLS. A previsão foi de investimentos em cerca de 71 milhões de reais para aquele ano⁴⁴. Foram envolvidos no programa os Ministérios da Ciência e Tecnologia, da Educação, da Agricultura e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, além de universidades, empresas e redes de pesquisa (MCTI, 2005). Para a consolidação de ações no Brasil para a nanotecnologia, foi a instituição da Rede BrasilNano pelo edital MCTI/CNPq

⁴⁴ Os primeiros programas lançados foram nos EUA em 2000, Coreia do Sul e Japão em 2001, Israel e Alemanha em 2002 e Taiwan e Reino Unido em 2003. Na América Latina e Central são pioneiros, juntamente ao Brasil, a Argentina e México (MCTI, 2012).

29/2005, em que foram criadas 10 redes de pesquisa⁴⁵ (MCTI, 2006) e ainda, assinado o protocolo de intenções entre Brasil e Argentina para as atividades do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia⁴⁶ (MCTI, 2006). Mais recentemente foram lançados novos editais para projetos de cooperação em nanociências e nanotecnologia: em 2010 o edital MCTI/CNPq nº 74/2010 selecionou 17 redes, sendo dessas 16 universidades e um projeto da Embrapa (CNPq, 2013)⁴⁷; em 2011 o edital MCTI/CNPq N.º 17/2011 selecionou seis projetos das redes de cooperação aprovados, com enfoque nos temas de nanotoxicologia e nanoinstrumentação, (CNPq, 2013)⁴⁸ e; o edital MCTI/CNPq N.º 16/2012 que privilegiou temas para produção, prototipagem e/ou aumento de escala em nanomateriais, nanocompósitos e/ou nanodispositivos, com aprovação de 12 projetos de pesquisadores sênior e 13 para jovens pesquisadores⁴⁹.

A partir de 2004 as ações para a nanociência e nanotecnologia alinhar-se-iam à Política Industrial e de Comércio Exterior (PITCE) para o fortalecimento e expansão da indústria nacional por meio da inovação, o aumento do valor agregado dos produtos, e ações no âmbito da ciência e tecnologia visando à difusão e extensão tecnológica no país (BRASIL, 2003, p 97). Este alinhamento entre a política de pesquisa e inovação e a política industrial, segundo Invernizzi *et al.* (2012), ocorreu em um contexto mais amplo de modificações na política brasileira de Ciência e Tecnologia. Desde o início da década de 2000 as iniciativas governamentais – por exemplo, os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia (1999), Lei de Inovação (2004) e a Lei do Bem (2005) – propiciaram maior articulação entre o setor produtivo, as universidades e os centros de investigação (INVERNIZZI *et al.*, 2012, p. 57-58). Essa articulação com a política industrial se evidencia com a criação, em 2009, do *Fórum de Competitividade de Nanotecnologia*, por iniciativa do MDIC e coordenado pelo MCTI, enquanto

⁴⁵ A relação das redes está relacionada no ANEXO I deste trabalho.

⁴⁶ Atualmente, segundo dados do MCTI, o governo federal possui acordos de cooperação em nanotecnologia com Canadá, China, Estados Unidos, Portugal e Espanha e União Europeia (MCTI, 2013).

⁴⁷ Dados obtidos no site: <<http://memoria.cnpq.br/resultados/2010/074.htm>>

⁴⁸ Dados obtidos no site: <<http://memoria.cnpq.br/resultados/2011/017.htm>>

⁴⁹ Dados obtidos no site: <http://www.cnpq.br/web/guest/chamadas-publicas;jsessionid=AF77C9126DF66AC6AA196956DB276689?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&filtro=encerradas&buscaChamada=&ano=&startPage=4>

instrumento de interlocução com diversos segmentos interessados nas atividades de nanotecnologia. A função do Fórum foi criar um espaço de debate em torno de oportunidades e desafios, com definição de metas e ações voltadas para a política industrial de desenvolvimento da produção (ABDI, 2013). Aberto à participação de representantes de diferentes setores da sociedade – empresas, governo, academia e trabalhadores, ainda que esse último tenha sido convidado após o início das atividades – o Fórum se organizava, até 2012, por meio de grupos de trabalho que se reuniam sem data fixa para os encontros.

Na primeira reunião do Fórum de Competitividade, em 2012, foi anunciada a criação do Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN) pelos representantes do MCTI. Foram atribuídas ao CIN as funções de propor mecanismos de acompanhamento e avaliação, formulação de planos, metas e projetos para consolidação da nanotecnologia no Brasil, e ainda, indicar potenciais fontes de financiamento e os recursos necessários para apoiar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Participam da estrutura do CIN os ministérios, algumas agências governamentais e representantes da sociedade civil organizada.⁵⁰ A interlocução entre os ministérios, segundo o CIN, visa integrar as ações para aperfeiçoar os recursos e multiplicar os resultados, explicou o representante do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (ABDI, 2012). Em 2013 atores foram convidados para o desenvolvimento das atividades do CIN. Foram eles: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Confederação Nacional da Indústria (CNI), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Confederação Nacional dos Trabalhadores, Conselho Nacional das Fundações de Amparo à Pesquisa (CONFAP), Conselho Nacional de Secretários para Assuntos de Ciência, Tecnologia e Inovação (CONSECTI), Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e a Representação dos Órgãos de Defesa do Consumidor (PROCON) (MCTI, 2013).

⁵⁰ A estrutura de governança e execução pode ser consultada no Anexo II.

Foi anunciado outro instrumento de estruturação das ações para a Nanotecnologia, ainda em 2012: o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNANO). A proposta foi promover o avanço científico e tecnológico e a inovação na área, além de aperfeiçoar a infraestrutura, o desenvolvimento de pesquisa básica e aplicada, promover a qualificação de recursos humanos e capacitar o país a desenvolver programas de cooperação internacional (MCTI, 2012). O SisNANO foi instituído em 2012 e conta atualmente com 26 laboratórios, selecionados por meio de chamada pública; a previsão orçamento é de 450 milhões reais para os anos de 2013-2014 (PLENTZ, 2013). A proposta é que o sistema tenha o caráter de atendimento multiusuário e a partir da submissão de propostas e projetos, aberto ao público. Os laboratórios estão divididos em duas categorias, Laboratórios Estratégicos e Laboratórios Associados. Os Laboratórios Estratégicos, no total de oito, têm por compromisso estarem disponíveis, minimamente, em 50% do tempo do uso de seus equipamentos para usuários externos. Vinculados ao Governo Federal, os Laboratórios Associados, estão relacionados, em sua maioria, as universidades públicas brasileiras. Esses têm por compromisso a disponibilidade de 15% do tempo de uso dos equipamentos aos usuários externos, também seguindo a orientação da submissão de propostas para seu uso (MCTI, 2013). O financiamento feito aos laboratórios tem por finalidade, segundo o MCTI

(i) melhorar a infraestrutura e mantê-los internacionalmente competitivos; (ii) permitir a incorporação, fixação e manutenção de corpo técnico-científico de alta qualificação, adequado ao desenvolvimento das missões desses laboratórios; (iii) permitir que funcionem de forma aberta, atendendo usuários e instituições dos setores público e privado (MCTI, 2013).

Na tabela 1 estão relacionados os laboratórios estratégicos e os laboratórios associados do SiSNano.

TABELA 1. LABORATÓRIOS PERTENCENTES AO SISNANO SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO

LABORATÓRIOS ESTRATÉGICOS	LABORATÓRIOS ASSOCIADOS
<p>Centro de Caracterização em Nanotecnologia para Materiais e Catálise-CENANO (INT, RJ)</p> <p>Laboratório de Nanotecnologia para o Agronegócio - LNNA (Embrapa/Instrumentação, SP)</p> <p>Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono - LQN (CDTN/CNEN, MG)</p> <p>Laboratório Estratégico de Nanotecnologia do Inmetro (INMETRO, RJ)</p> <p>Laboratório Integrado de Nanotecnologia - LIN-IPEN (IPEN/CNEN, SP)</p>	<p>Central Analítica em Tecnologia de Microscopia da Universidade Federal do Ceará (UFC/CE)</p> <p>Centro de Caracterização e Desenv. de Protocolos para Nanotecnologia - (UNESP/SP)</p> <p>Centro de Componentes Semicondutores - (Unicamp/SP)</p> <p>Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados - LEMN (UFABC-SP)</p> <p>Laboratório Associado da Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG)</p> <p>Laboratório Associado de Desenvolvimento e Caracterização de Nanodispositivos e Nanomateriais LANano (UFMG/MG)</p> <p>Laboratório Central de Nanotecnologia - LCNano (UFPR/PR)</p> <p>Laboratório de Caracterização Estrutural - LCE (UFScar/SP)</p> <p>Laboratório de Engenharia e Superfície de Materiais Nanoestruturados (UFRJ/RJ)</p> <p>Laboratório de Fabricação e Caracterização de Nanodispositivos - LABDIS (PUC-Rio/RJ)</p> <p>Laboratório de Nanobiotecnologia para Desenvolvimento, Prototipagem e Validação de Produtos para o SUS - NanoSus (Fioruz-IBMP/PR)</p> <p>Laboratório de Nanociência e Nanotecnologia da Amazônia - LABNANO-AMAZON</p> <p>Laboratório de Sínteses e Nanoestruturas e Interação com Biosistemas - (Unicamp/SP)</p> <p>Laboratório Interdisciplinar do Desenvolvimento de Nanoestruturas (LINDEN / UFSC)</p> <p>Laboratório Regional de Nanotecnologia - LRNANO (UFRGS/RS)</p> <p>Laboratórios Associados em Nanotecnologia - LARnano (UFPE/PE)</p> <p style="text-align: right;">Continua</p>

LABORATÓRIOS ESTRATÉGICOS	LABORATÓRIOS ASSOCIADOS conclusão
	Núcleo de Apoio à Pesquisa em Nanotecnologia e Nanociências - NAP-NN (USP/SP) Núcleo de Bionanomanufatura (IPT/SP)

Fonte: MCTI, 2013.

O SisNANO é um dos alicerces da *Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia*. A Iniciativa foi lançada em 2013 com o objetivo de “(...) integrar e fortalecer as ações governamentais para promover o aumento da competitividade da indústria brasileira ancorada na nanotecnologia” (MCTI, 2013). Alguns *setores estratégicos* foram indicados como promissores ou com potencial de inovação no desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. As ações da *Iniciativa* se direcionam principalmente aos setores Aeronáutica, Aeroespacial e Defesa; Agronegócios e Alimentos; Energia, Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos; Meio Ambiente/Amazônia; Óleo e Gás; Plásticos; e Saúde (MCTI, 2013). São setores considerados estratégicos por apresentarem potencial de aplicação da nanotecnologia com alta capacidade de inovação e de importância econômica (MCTI, 2013).

As discussões que orientam a estratégia nacional de desenvolvimento da nanotecnologia visionam que essa é uma das tecnologias portadora de um futuro próximo de inovação e diferencial competitivo para a indústria. Os mecanismos criados para seu desenvolvimento procuram articular a pesquisa realizada nos laboratórios nacionais, institutos e universidades às possibilidades de aplicação incremental no setor produtivo. Dos 450 milhões de reais previstos de investimentos para o ano de 2014, estariam divididos para: 148 milhões seriam destinados para o SisNANO, 40 milhões para subvenção de projetos pela FINEP, 35 milhões para as institutos de ciência e tecnologia – CNPq, 11 milhões para as redes e editais do MCTI/CNPq e o restante dos investimentos para o Sistema Brasileiro de Tecnologia - SIBRATEC, Cooperação Internacional e Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial - EMBRAPPI (PLENTZ, 2013).

A justificativa para o desenvolvimento de um programa para a nanociência e a nanotecnologia, nos documentos citados anteriormente, é de alavancar a competitividade econômica no Brasil, aumentando a participação no mercado mundial, por meio de uma política que focalizasse o vínculo entre desenvolvimento, educação e investimentos em ciência e tecnologia. A estratégia possibilitaria ao país entrar na concorrência tecnológica com medidas concretas de desenvolvimento, diferentes de outros momentos em que as políticas governamentais foram pouco agressivas em áreas estratégicas. A organização de um programa para a área possibilitaria aproveitar os recursos existentes, direcionaria investimentos e a capacitação de *recursos humanos* com objetivo de criar e desenvolver novos produtos e processos para alavancar a competitividade da indústria nacional (MCTI, 2003, p. 08). A seguir apontamos algumas das iniciativas tomadas para a qualificação de trabalhadores – entendidos como trabalhadores, técnicos, graduados, especialistas – para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil.

4.2 CAPACIDADES INTERNAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA

Os levantamentos realizados para o *Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia*, em 2003, identificaram que havia uma significativa produção científica no Brasil. Os principais temas dessa produção foram a manipulação de nano-objetos, a nanoeletrônica, o nanomagnetismo, a nanoquímica e a nanobiotecnologia (MCTI, 2003, p. 02). Além da produção científica, indicou-se que o país também abrigava produção tecnológica na área, tendo como indicativo as patentes e projetos executados por empresas em parceria com universidades, instituições e individualmente (MCTI, 2003, p. 02). Foi considerado que a infraestrutura e as competências para as atividades da nanotecnologia no país eram significativas, mas que a aplicação de alguns resultados de pesquisa, por exemplo, a nanofabricação, apesar de apresentarem boas perspectivas, estaria limitada ao meio acadêmico (MCTI, 2003, p. 02). Porém, a programa não menciona quais estratégias seriam necessárias para

incentivar o empresariado a inovar, tendo em vista o retrospecto de baixa intensidade tecnológica da produção nacional.

A partir do diagnóstico de que o Brasil possuía bases para o lançamento de uma agenda para a nanotecnologia com vistas à inovação tecnológica para setores economicamente estratégicos, caberia às ações governamentais garantir a infraestrutura, a cooperação internacional e financiamento para viabilizar tal potencialidade. No âmbito das capacidades de pesquisa e desenvolvimento, as ciências que compõem o lastro interdisciplinar da nanotecnologia foram consideradas bem desenvolvidas no país⁵¹. Em virtude disso, a formação de *recursos humanos* de alto nível educacional – pós-graduados – foi considerada ponto estratégico, para desenvolver não somente a pesquisa, mas também, as possibilidades de aplicação da tecnologia (MCTI, 2003, p. 02). Naquele momento as principais metas de qualificação de profissionais direcionaram-se aos pesquisadores, com instalação de redes de pesquisa e laboratórios nacionais. A criação de programas de pós-graduação, com enfoque multidisciplinar e multi-institucionais, tinha por objetivo colocar os alunos em contato com as experiências nacionais nas diferentes áreas relevantes para a nanotecnologia (MCTI, 2003).

Para a graduação, nos primeiros quatro anos de programa (2004-2007), parecia mais adequado, segundo do documento do GT-N&N, colocar os graduandos das várias áreas científicas em contato com a nanotecnologia e sua terminologia própria, ou ainda, incentivar a iniciação científica em projetos da área. Outra sugestão foi ofertar módulos sobre a nanotecnologia e suas diversas possibilidades, ministrados por pesquisadores experientes na área, que relacionem os fundamentos da nanotecnologia e as possibilidades de aplicação no setor produtivo. Naquele momento não foi sugerido a criação de cursos de graduação em nanotecnologia, o que foi justificado pela complexidade e a diversidade da tecnologia (MCTI, 2003, p.03). No entanto, três cursos de graduação em nanotecnologia foram criados até o momento: o Bacharelado em Nanotecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desde 2009, o Bacharelado em Física: Materiais e Nanotecnologia pela Universidade Federal do

⁵¹ Biologia, Biotecnologia, Engenharias Elétrica, Microeletrônica, Mecânica, Química e de Materiais, a Física, Matemática e a Química.

Rio Grande do Sul (UFRGS) desde 2010 e o curso de Engenharia em Nanotecnologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) inaugurado em 2011⁵².

Das atividades de P&D em nanotecnologia e nanociências o país conta com uma infraestrutura de 24 redes cooperativas de pesquisa, 16 Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia⁵³, que desenvolvem a nanotecnologia, e 18 laboratórios nacionais (MCTI, 2012). Em termos da *expertise* nacional são cerca de 2.500 pesquisadores, 3.000 estudantes de pós-graduação, com uma produção científica (artigos) de aproximadamente 1,9% do montante mundial⁵⁴ (MCTI, 2012). Já o sistema de Ensino Superior brasileiro conta atualmente com os três cursos de graduação já mencionados, três cursos de pós-graduação avaliados pela CAPES - Nanociência e Nanobiotecnologia na UNB, Nanociências na UNIFRA e Nanociências e Materiais Avançados UFABC⁵⁵. Outros cursos podem estar sendo ofertados, mas sua identificação foi dificultada pela não indicação direta na nomenclatura do curso ou ainda não estarem listados no sistema da CAPES, como por exemplo, o programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-RJ com oferta de área de concentração em nanotecnologia, ou ainda, a pós-graduação em Nanotecnologia Química e Farmacêutica pelo Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz – SP.

Além de cursos de nível superior e pós-graduação, os primeiros levantamentos que subsidiaram o Programa Nacional de Nanotecnologia previam que muitas indústrias, no curto prazo, poderiam utilizar a nanotecnologia em seus produtos e processos o que demandaria trabalhadores de nível técnico e médio. Para atender a potencial demanda das empresas foi considerado “(...)

⁵² A proposta de cada curso e a motivação da abertura será discutida no capítulo 5 desta tese.

⁵³ UNICAMP: Materiais complexos e funcionais, Sistemas micro e nanoeletrônicos e, Fotônica para comunicações ópticas. UFSC: Nanoestruturados. UFRGS: Engenharia de Superfície. UFC: Nanobioestruturas e simulação nanobiomolecular. UFPE: Inovação farmacêutica, Fotônica e Nanotecnologia para marcadores integrados. UNB: Nanobiotecnologia. UFMG: Nanomateriais de carbono e Nano-Biofarmacêutica. PUC-RJ: Nanodispositivos semicondutores. UNESP: Ciências dos materiais em nanotecnologia. USP: Eletrônica orgânica e Óptica/Fotônica (MCTI, 2012).

⁵⁴ Na escala mundial de produção científica e acadêmica na área de nanociências e nanotecnologia, o Brasil ocupava na primeira década dos anos 2000 o 25º lugar, ranking liderado por EUA, Japão e Alemanha, respectivamente (SENAI/SP, 2012, p. 52).

⁵⁵ Dados obtidos com o marcador Multidisciplinar (grande área) e Interdisciplinar (área de avaliação):

<<http://conteudoweb.capes.gov.br/conteudoweb/ProjetoRelacaoCursosServlet?acao=pesquisarGrandeArea>> Acesso em: 15 fev. 2013.

determinante e estratégico influenciar os cursos técnicos na direção desta tecnologia (...)", já que nos segmentos de alta tecnologia os técnicos altamente qualificados são fator de sucesso no empreendimento (MCTI, 2003, p.03). No entanto, nenhuma diretriz ou meta foi delineada naquele momento para estruturar a oferta de cursos técnicos para a área. Somente metas de formação de alunos de pós-graduação foram colocadas para 2004 a 2007, passando de 600 em 2003 a 1140 em 2007 (MCTI, 2003, p.12). A aproximação da pesquisa, principalmente aquelas produzidas nas universidades e redes de pesquisa de nanotecnologia, com as empresas aparecem recorrentemente no discurso político como forma de transferência de conhecimento para a inovação tecnológica industrial que impulsaria a competitividade e o desenvolvimento econômico e social do país. Mas, se tomamos o grau de importância que as empresas inovadoras atribuem a suas parcerias notamos que esse tipo de cooperação não é o predominante na indústria brasileira. Pelos dados da PINTEC/2011 das indústrias que inovaram entre 2009 e 2011, 76,5% das empresas atribuem maior importância as parcerias estabelecidas com os fornecedores, com 59,4% a cooperação realizada com clientes ou consumidores, 35% das indicações para os centros de capacitação profissional, assistência técnica e instituições de testes, ensaios e certificações, e somente 30% atribuíram média ou alta importância a cooperação estabelecida entre a indústria e a universidade/centros de pesquisa (IBGE, 2013).

No caso do ensino básico e dos cursos técnicos e profissionalizantes, o SENAI/SP preparou unidades móveis de ensino em caminhões que possuem equipamentos de alta tecnologia, além de simulações e aplicações práticas da nanotecnologia. As unidades móveis têm por finalidade complementar os conteúdos vistos nas aulas ministradas pelo Sesi e SENAI. A unidade do SENAI/SP de Mariano Ferraz dispõe de um curso de iniciação profissional em Nanociência e Nanotecnologia com duração de 20 horas, destinado a alunos de no mínimo 14 anos de idade e com a 7ª série do Nível Fundamental completo⁵⁶ (SENAI/SP, 2013). A unidade do SENAI/SP de Engenheiro Adriano José Marchini oferta em curso na área têxtil e de vestuário, *Efeitos de superfície em artigos têxteis*, em que o conteúdo de nanotecnologia é abordado enquanto técnica de

⁵⁶ Não há indicativo de turma aberta, somente um registro para os alunos que possuem interesse no curso.

acabamento (SENAI/SP, 2013). Em 2012, no *Workshop Nanotecnologias da ciência ao mundo dos negócios*, a unidade do SENAI de Mario Amato, São Bernardo do Campo, indicou a previsão da oferta de cursos conforme a demanda da indústria, no entanto, nenhum curso foi identificado no *site* da instituição. Esses foram os cursos identificados no site das escolas SENAI no Brasil, instituição indicada no programa de desenvolvimento da nanotecnologia como uma das responsáveis pela oferta de educação profissional técnica na área de nanotecnologia (MCTI, 2003). Possivelmente outros cursos de áreas afins à nanotecnologia como a microscopia, caracterização de materiais, manuseio de materiais e equipamentos, podem estar sendo ministrados, no entanto, a relação deles com a temática da nanotecnologia não pode ser estabelecida por meio das buscas disponíveis nos *sites* institucionais.

Pudemos identificar que a oferta de ensino em nanotecnologia tem sido feita pela iniciativa de universidades e cursos complementares, mas sem revelar articulação definida num plano educacional nacional. A preocupação com a demanda de trabalhadores para o setor existe. Contudo, não foram delineadas ações concretas nas políticas públicas, ainda que metas tenham sido apontadas, como anteriormente citado. Palestras e cursos rápidos têm auxiliado na atualização dos profissionais e estão sendo ofertados por entidades de classe, universidades e laboratórios de pesquisa. É o caso, por exemplo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro que promove *Escola de Nanociência e Nanotecnologia* – em 2013 foi realizada a sexta edição – destinada aos alunos de graduação que desejam conhecer a nanotecnologia e suas múltiplas possibilidades de aplicação. Além disso, a UFRJ vem realizando uma programação de jornadas e seminários. Também são exemplos dessas iniciativas de treinamento a *Escola de Microscopia Eletrônica* promovida pelo Inmetro e o *Curso de Microscopia Eletrônica de Transmissão* ofertado pelo Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), em 2013.

Algumas iniciativas de educação não formal vêm sendo desenvolvidas. O IIEP - Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas, em conjunto com a FUNDACENTRO e a Rede de pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente - Renanossoma, promovem seminários, oficinas, atividades e

publicações sobre a temática da nanotecnologia destinadas a educadores, acadêmicos, sindicalistas e representantes do poder público. A Renanossoma promove a informação sobre a nanotecnologia por meio do programa *web Nanotecnologia do Avesso*, em que os entrevistados são convidados a debater questões relacionadas à nanotecnologia. Outra iniciativa é da FUNDACENTRO que publica desde 2008 cartilhas com histórias em quadrinhos, destinadas aos trabalhadores. As cartilhas contêm informações sobre os conceitos da nanotecnologia e os possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente. A primeira publicação foi a cartilha *Nanotecnologia: o transporte para um novo mundo*, em que três funcionários da empresa de transporte “Novo Mundo” entram em contato com a noção de nanotecnologia. Em *Nanotecnologias: Maravilhas e Incertezas no Universo da Química*, de 2010, os três funcionários estão em uma indústria química e a discussão se direciona para esse setor produtivo. A última cartilha lançada, em 2013, *Nanotecnologia: Um Universo em Construção*, os personagens são trabalhadores de uma construtora que dialogam sobre a diferença e os riscos existentes entre o cimento comum e o cimento com aplicação de nanotubos de carbono.

Sobre a questão da qualificação para a nanotecnologia, o Fórum de Competitividade em Nanotecnologia possuía até 2012 um grupo de trabalho (GT-RH) destinado a debater as possíveis necessidades de *recursos humanos* para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. Os debates se davam em torno da das necessidades de pesquisa e inovação quanto da qualificação técnica de trabalhadores para atender as empresas que adotassem a nanotecnologia como tecnologia produtiva. No ano de 2011 na reunião de agosto, ocorrida em na sede da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) em São Paulo, foram apresentadas pelo GT-RH as conclusões do debate promovido entre os participantes do grupo sobre as demandas de qualificação técnica para a nanotecnologia⁵⁷.

Entre os participantes do grupo fica clara a perspectiva que a incorporação da nanotecnologia aos setores produtivos traria algum tipo de implicação para a qualificação e para a oferta de emprego. Vide por exemplo, a necessidade de

⁵⁷ O histórico detalhado dos encontros do Fórum é apresentado no próximo item deste capítulo.

ampla formação nos diferentes níveis de ensino e a preocupação com os profissionais hoje em atividade. Colocou-se como demanda, não somente a qualificação profissional, mas a necessidade do preparo das futuras gerações de trabalhadores – pesquisadores, especialistas, técnicos – conhecerem as diferentes possibilidades de entendimento e manipulação dos estados físico-químicos da matéria. Foi demandada ainda, a disponibilidade de informação sobre riscos e toxicidade para os trabalhadores envolvidos com atividades nanotecnológicas enquanto componente necessário da boa qualificação de profissionais e de qualidade/segurança no espaço de trabalho. A questão do acesso aos laboratórios nacionais foi incorporada ao SisNANO com a determinação de destinação de parte do tempo para o uso público dos equipamentos de cada laboratório⁵⁸. No Fórum de Competitividade de Nanotecnologia a discussão sobre a qualificação de recursos humanos perpassou os debates dos diferentes grupos de trabalho, concentrando-se no GT-RH. Na sequência apresentam-se cronologicamente os relatórios de cada reunião do Fórum, a partir da produção de cada grupo de trabalho, com objetivo de destacar quais as principais discussões vinculadas naquele espaço destinado à criação de consenso sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil e quais as percepções sobre a qualificação de trabalhadores para a área.

4.3 O HISTÓRICO DAS DISCUSSÕES DO FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DE NANOTECNOLOGIA⁵⁹

Como mencionado anteriormente, a construção de um espaço para fomentar discussões e encaminhar sugestões para a agenda governamental para a nanotecnologia – Fórum de Competitividade em Nanotecnologia – surge por demanda do MDIC com a coordenação do MCTI. Cumprindo também o plano de metas do Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) de

⁵⁸ No entanto, não há menção se os documentos do Fórum serviram de subsídio para a construção das diretrizes do SisNANO.

⁵⁹ O conteúdo deste item foi elaborado com base na memória digital do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia, disponível na página do MDIC e da ABDI.
<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=3&menu=2469&refr=2469>
<http://forumnano.abdi.com.br/default.aspx>

2007/2010, o Fórum é implantado em 2009 (MCTI, 2010). As funções atribuídas ao Fórum no PACTI foram: (i) Apoiar a divulgação da nanotecnologia, como responsáveis: MCTI, CNPq, ABDI, MDIC e INPI; (ii) Apoiar eventos de nanotecnologia como componente de inovação nas empresas, com previsão de dez eventos em dois anos atribuídos ao MCTI, ABDI, MDIC e INPI; (iii) *Realização do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia*, com até três fóruns por semestre, pelo MCTI, ABDI, MDIC, INPI (MCTI, 2010, p.11).

Com a proposta de alinhar os objetivos da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) o Fórum de Competitividade em Nanotecnologia “(...) busca o consenso em torno de oportunidades e desafios, definindo metas e ações voltadas para uma nova política industrial de desenvolvimento da produção” (MCTI&MDIC, 2013). A busca do *consenso* tem sido feita pelo debate aberto, de forma gratuita, com representantes do governo, empresas, sindicatos, associações de classe e demais interessados, por meio de plenárias e grupos de trabalho. De 2009 a 2013 foram realizados catorze reuniões do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia. O último encontro do Fórum aconteceu em 2013 no 3º *Workshop Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios, em Florianópolis*, no entanto, o formato dessa reunião foi diferente das anteriores. Enquanto nas reuniões anteriores os participantes assistiam às palestras, aos comunicados e contribuía com as discussões nos grupos de trabalho, na última reunião, o Fórum fez parte da agenda do 3º *Workshop Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios*, com informações sobre as ações do MCTI, CNPq, FINEP e BNDES para a nanotecnologia. Ao final das apresentações houve uma pequena mesa redonda com questões abertas aos participantes do *workshop*, mas sem a presença dos grupos de trabalho⁶⁰.

Além das catorze reuniões, foram promovidos três workshops com objetivo de aproximar a produção científica da indústria brasileira, com discussões sobre as necessidades, as oportunidades e levantamentos de demandas para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. Os títulos dos workshops indicam a

⁶⁰ Na ocasião da apresentação das novas propostas do MCTI para a nanotecnologia, na 1º reunião do Fórum de 2012, havia previsão que o Fórum continuasse sendo espaço consultivo e propositivo na Secretaria Especial de Nanotecnologias. No entanto, com a criação da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia não houve indicação de continuidade das atividades do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia.

intenção desses eventos: *Workshop Nanotecnologias: expectativa da indústria brasileira*, em 2010; 2º e 3º *Workshops Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios*, em 2011 e 2013, respectivamente. O primeiro *workshop* em 2010 aconteceu nas dependências da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e tinha por objetivo prospectar qual o nível de conhecimento que diferentes setores da indústria possuíam sobre o tema da nanotecnologia. As informações levantadas serviriam para organizar ações dentro dos programas nacionais de desenvolvimento da nanotecnologia – no curto, médio e longo prazo – “(...) a fim de preservar e ampliar a competitividade da indústria brasileira” (MCTI&MDIC, 2013).

Os participantes foram divididos em grupos temáticos conforme o interesse econômico: Bens finais, Bens intermediários, Insumos e Serviços. Para cada grupo foram convidadas associações empresariais e empresas para apresentar um panorama do setor com informações básicas do setor, desafios para a inovação a partir da nanotecnologia e desafios e necessidades para a inovação a partir da nanotecnologia. Segundo o documento final do workshop, também foi elaborado um conjunto de informações sobre a nanotecnologia – conceitos básicos, cadeia de valor, visão acadêmica e visão empresarial, serviços e compartilhamentos – como forma de colocar em contato os pesquisadores e interessados na aplicação da nanotecnologia (MCTI&MDIC, 2013). Cada grupo de trabalho produziu um relatório final com as oportunidades e as necessidades para o desenvolvimento setorial da nanotecnologia.

Sobre as necessidades de mão-de-obra, todos os grupos apontaram haver alguma dificuldade na disponibilidade de trabalhadores especializados, no entanto, a maior ênfase sobre essa dificuldade foi feita com a falta de articulação entre universidade e empresas. Ainda que a qualificação técnica tenha sido apontada, a ênfase foi na pesquisa e relacionamento da universidade com as necessidades empresariais. Outras questões pacíficas entre os grupos de trabalho do workshop foram: necessidade do envolvimento do Brasil na discussão sobre normalização e padronização da nanotecnologia no âmbito internacional; temor que um marco regulatório pudesse determinar interferir no desenvolvimento

da tecnologia; e a dificuldade de cooperação entre academia e indústria (MCTI&MDIC, 2013).

O segundo e terceiro *workshops* tiveram o caráter de aproximação da pesquisa acadêmica a indústria trabalhado na programação dos eventos. Enquanto em 2010 a questão principal era levantar um panorama do conhecimento dos setores sobre o desenvolvimento da nanotecnologia e suas potencialidades para a inovação, já em 2011 e 2013 o foco do evento foi a apresentação de *cases*, aplicações em andamento da nanotecnologia. Empresas como Esmaltec, Magnesita, Bioaptus, Brasil Foods, Malwee, Biolab e WEG apresentaram suas aplicações de sucesso e o diferencial que a nanotecnologia traz a seus produtos. Pelo lado da pesquisa a Embrapa, as associações empresariais e pesquisadores de universidades públicas apresentaram possibilidades de desenvolvimento da nanotecnologia para produtos de diversos setores industriais. Foram dois eventos fortemente marcados pelo incentivo a inovação via nanotecnologia. Questões relativas aos riscos, a regulação e aos investimentos governamentais entraram na discussão principalmente nos momentos em que o público teve oportunidade de questionar os palestrantes.

Os *workshops* foram articulados ao Fórum de Competitividade e promovidos em parceria com entidades empresariais. No entanto, as atividades do Fórum possuíam uma dinâmica diferente do *workshop*: enquanto neste a principal intenção foi apresentar à indústria as possibilidades da nanotecnologia, naquele as questões foram de amplo espectro, ainda que a aplicação comercial da nanotecnologia fosse questão de fundo das discussões. Divididos em grupos de trabalho, os participantes do Fórum se dividiam em pontos temáticos: Marco regulatório, Cooperação Internacional, Mercado e Recursos Humanos. Cada tema constituía um grupo de trabalho, que com a orientação de um coordenador, discutia oportunidades e dificuldades para o desenvolvimento da nanotecnologia. A participação em cada grupo era aberta a qualquer ouvinte presente no fórum, no entanto, observou-se que a composição dos participantes era flutuante de um encontro para outro. Participantes dos mais variados perfis compuseram o público das edições do Fórum: sindicalistas, estudantes, representantes de entidades governamentais, empresários, pesquisadores, professores, empresários, etc. Na

sequência do texto apresentamos as atas cada grupo de trabalho em cada reunião do Fórum de 2009 a 2012⁶¹.

Os temas mais citados nas reuniões foram: a prospecção dos setores econômicos em que o Brasil pode se apresentar como competitivo frente ao mercado internacional; o levantamento internacional e a necessidade de construção de um marco regulatório para a produção e consumo da nanotecnologia; a pesquisa sobre riscos e segurança desde a produção ao descarte pós-consumo; as necessidades de trabalhadores qualificados para o trabalho com a tecnologia e a construção de uma agenda governamental para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. Durante o resgate da memória do Fórum foi possível observar como o espaço foi alterando sua proposta inicial, principalmente nos anos de 2012 e 2013; de espaço de fomento da discussão e encaminhamento de sugestões para um programa de ação coordenado, para um canal informativo sobre as iniciativas governamentais e institucionais para o setor. Deduz-se que pelo fato de haver sido estruturada uma agenda coordenada para a pesquisa, inovação e desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, com a atual Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, o Fórum passou de espaço de construção de consenso para espaço de vinculação de informações para as empresas e pesquisadores interessados na aplicação da tecnologia.

4.3.1 Fórum de Competitividade: 1º e 2º reuniões (2009)⁶²

A **1ª reunião** do Fórum de Competitividade teve como principal palestrante o professor Oswaldo Luiz Alves, professor titular do Departamento de Química Inorgânica do Instituto de Química da UNICAMP, que abriu as discussões com a apresentação sobre as oportunidades e desafios da Nanotecnologia. Nos relatórios finais de cada grupo de trabalho (GT) foram indicadas quais ações iniciariam os trabalhos de cada grupo no contexto do Fórum. Os participantes do

⁶¹ Nem todos os grupos produziram relatórios finais em todas as reuniões do Fórum. Em 2013 não houve a reunião dos grupos de trabalho, por isso a ausência de menção aos grupos nesse ano.

⁶² Alguns trechos do texto estão em negrito para facilitar a localização das informações sobre os grupos de trabalho.

GT – Marco Regulatório propuseram o estudo da regulação vigente como base de análise para os insumos, produtos intermediários e produtos nanotecnológicos, bem como, a inclusão da nanotecnologia na discussão das agências reguladoras nacionais. No âmbito econômico ficou apontada a preocupação com a identificação de possíveis barreiras impostas por outros países e a necessidade do Brasil integrar-se a redes internacionais que vinham debatendo a regulamentação da nanotecnologia. Possíveis parcerias foram indicadas pelo **GT-Cooperação Internacional**: no eixo Sul – Sul a Coreia do Sul, a China, a Índia, o Irã e a África do Sul; os tradicionais parceiros EUA, Alemanha, França, Japão, Itália; e como oportunidades a Rússia, o Canadá e a Irlanda. A preocupação com a regulação aparece também no GT – Cooperação Internacional que sugeriu tanto a pesquisa e monitoramento das políticas estrangeiras quanto o monitoramento dos possíveis impactos sobre as barreiras comerciais.

No **GT – Mercado** o principal polo das discussões foi o financiamento. Constatou-se pelo GT que o empresário brasileiro evita o investimento em capital de risco e sugeriu-se que o BNDES tivesse abertura de crédito específico para empresas com atividade em nanotecnologia. Os participantes apontaram ainda que os editais de subvenção econômica da FINEP quase sempre são vencidos pelas mesmas empresas. O financiamento foi elemento também abordado no **GT – Recursos Humanos**, mas na forma de oferta de bolsas de iniciação científica, pelo CNPq, em projetos de nanotecnologia. A discussão do GT indicava a preocupação com a disseminação de informação sobre a nanotecnologia em todos os níveis de ensino, além de informação para toda a sociedade. A formação de nível técnico, a graduação, a especialização, os cursos de curta duração e expansão foram os níveis e modalidades indicados como demandas educacionais para a nanotecnologia. Foi sugerido que algumas instituições fossem convidadas a participar dos debates do GT: Institutos Nacionais, Redes de Nanotecnologia, Laboratórios Estratégicos, CAPES, MEC – Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, SENAI, CNPq e a Confederação Nacional da Indústria (CNI).

Talvez pela abrangência das demandas e pela busca de soluções, o GT-RH tenha sugerido a inclusão de outros atores nas discussões sobre a qualificação de *recursos humanos* para a nanotecnologia. Mas a preocupação

com a formação de trabalhadores ficou evidente no GT-RH, para todos os níveis educacionais, o que denota que a nanotecnologia pode trazer implicações, tanto na estrutura de empregos, quanto na demanda de oferta de especialização para a área. O aspecto da abrangência setorial da nanotecnologia foi reafirmado nos debates sobre a regulamentação uma vez que se propôs o estudo da base legal que regulamenta diferentes tipos de insumos e produtos. A questão do financiamento para o desenvolvimento comercial da nanotecnologia foi prontamente discutida na reunião seguinte do Fórum, conforme se pode observar no próximo item deste capítulo.

Logo no mês seguinte da realização da primeira reunião, o Fórum foi convocado em dezembro de 2009, no MDIC. A abertura dos debates da **2ª reunião** se deu com duas apresentações: a FINEP apresentou sua proposta institucional e instrumentos possíveis de financiamento, e o BNDES indicou algumas modalidades de apoio financeiro aplicáveis à nanotecnologia. Os grupos de trabalho voltaram a se reunir e deram continuidade aos debates iniciados na primeira reunião do Fórum. Os dois grupos que ampliaram as discussões foram o GT – Mercado e o GT – RH, os demais, Marco Regulatório e Cooperação Internacional, deram continuidade ao refinamento da agenda proposta na primeira reunião.

O **GT- Mercado** avançou passando da temática do financiamento aos levantamentos realizados sobre mercados mundiais de nanotecnologia: quais eram os setores mercadológicos em que o Brasil possuía competitividade, quais as bases de conhecimento em que se poderia buscar informação sobre nanotecnologia e os mecanismos de fomento para a área. No nível internacional, enquanto mercados ativos em nanotecnologia foram reconhecidos os setores da Eletroeletrônica, Química, Petroquímica, Fármacos e Cosméticos. Os setores identificados em início de atividades foram Celulose e Papel, Têxtil e Automobilístico. Contudo, novos negócios poderiam ser explorados na produção de combustível, de baterias de lítio, de células solares, na cadeia da saúde, na defesa e aeronáutica. Em parte desses setores o Brasil foi considerado como tendo competitividade frente o mercado internacional: Química, Petroquímica, Aeronáutica, Produção de Combustíveis, Fármacos e Cosméticos, dentre aqueles

os citados com atividades iniciadas internacionalmente. No nível nacional não foram identificadas quais áreas já estavam incorporando ou pesquisando a nanotecnologia enquanto inovação produtiva.

Nas discussões do **GT – RH** a temática se direcionou para a definição de demandas em cada nível educacional. Para o Ensino Médio a divulgação da nanotecnologia foi considerada fator de influência na escolha dos estudantes pela área e relevante para a qualificação para a nanotecnologia. Para o ensino superior duas seriam as frentes de trabalho: na graduação e na pós-graduação. Nos cursos de graduação a ênfase na iniciação científica voltada para empresas foi destacada como iniciativa para formação de recursos humanos nas políticas públicas. Os alunos de graduação deveriam ser estimulados a desenvolver trabalhos de conclusão de curso focados na resolução de problemas das indústrias/empresas, além de disporem de disciplina(s) optativa(s) de nanotecnologia(s) em seus cursos.

Além disso, foi sugerida a criação de um prêmio para os alunos de graduação, por intermédio de instituições de fomento. Para a pós-graduação a abertura de editais para bolsas com temas da nanotecnologia aplicada à indústria e o incentivo a permanência e/ou retorno de pesquisadores de doutorado e pós-doutorado para o Brasil foram sugestões para formação. Outra estratégica de informação e educação foi a promoção de palestras em entidades setoriais/associações e a divulgação de eventos realizados no âmbito da academia. Notamos que não houve indicativo de elaboração de um plano de ação para inserção da temática nos cursos de nível técnico ou atualização de profissionais, hoje atuantes no mercado em áreas correlacionadas a nanotecnologia. Representantes do SENAI e Sesi que poderiam contribuir com a experiência institucional da entrada de novas tecnologias na indústria e pesquisadores da área de humanas, não fizeram parte destas primeiras discussões sobre a qualificação para a nanotecnologia.

4.3.3 Fórum de Competitividade: 3º e 4º reuniões (2010)

Na **3ª reunião** do Fórum, dos grupos de trabalho se reuniram em dias diferentes para que alguns participantes pudessem estar presentes em mais de um grupo. As reuniões dos grupos iniciaram no dia 28 de janeiro e terminaram em 2 de março de 2010. O **GT – Mercado** deu continuidade aos levantamentos sobre informações do mercado da nanotecnologia, sem produção de uma ata/relatório nesse evento. O **GT – Cooperação Internacional** teve como principal atividade o envio de questionários às embaixadas do Brasil sobre informações relacionadas à nanotecnologia (MDIC, 2010). Os grupos de trabalho RH e Marco Regulatório detalharam um pouco mais suas agendas de atividades. Foi feita uma proposta de algoritmo⁶³ de classificação dos produtos nanotecnológicos pelo **GT – Marco Regulatório**, com a finalidade de compor um futuro registro. Além disso, o estudo das normas de regulação e normas técnicas existentes para registro de produtos de vários setores indicou a necessidade de inclusão de poucos requisitos adicionais para o registro e controle da qualidade dos insumos e produtos que utilizam nanotecnologia.

A primeira pauta do **GT-RH** foi a indicação de coordenação do grupo. Foi sugerido o nome de um representante da CAPES, o professor Sérgio Avelar, e que, provisoriamente, a Secretaria de Inovação assumiria com a função de coordenar o grupo. Os temas da terceira reunião orbitaram sobre os itens já apontados na reunião anterior, com foco principal permanecendo nos cursos de graduação e pós-graduação. Alguns participantes questionaram como realizar a inserção das disciplinas com temas da nanotecnologia nos cursos de graduação. A oferta de disciplinas optativas foi considerada interessante, pois poderiam colocar os alunos em contato com o tema e despertar seu interesse. Mas, as dúvidas sobre quais estratégias educacionais e como inserir a nanotecnologia nos cursos permaneceram. Tanto para graduados quanto para técnicos destacou-se a importância da aproximação das empresas e das universidades, com a divulgação de oportunidades de trabalho, as áreas em desenvolvimento e o perfil desejado para técnicos. Outra estratégia seria a oferta de empregos temporários,

⁶³ A representação gráfica do algoritmo pode ser encontrada no Anexo III desta tese.

no período de férias, para os alunos conhecerem as empresas e assim, escolher seus cursos fazer em virtude desta experiência.

O estreitamento dos vínculos entre universidades e empresas foi o foco de discussão naquele encontro. Desde oferta de empregos temporários, divulgação das pesquisas acadêmicas para a indústria, editais direcionais a aplicação da nanotecnologia e fixação de pesquisadores em regiões com potencial de desenvolvimento da tecnologia, foram sugestões de aproximação da pesquisa e à aplicação industrial. Constatamos que o grupo corrobora com as intenções de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil: enquanto diferencial competitivo industrial para o país.

Pelo interesse de alguns participantes de estarem presentes em mais de um grupo de trabalho, a **4ª reunião** do Fórum foi dividida em datas e horários que permitissem a circulação dos participantes em mais de um grupo de trabalho. Em abril, o **GT - Marco Regulatório** se reuniu no BNDS, com o objetivo de diagnosticar aspectos do marco regulatório de nanotecnologia e distribuir um questionário aos participantes do grupo que serviria de base para o encaminhamento de sugestões de regulação ao MDIC. No mês seguinte, o **GT-Mercado** também se reuniu no BNDES, para discutir possíveis oportunidades de cooperação do Brasil com outros países e, ainda, discutir as próximas iniciativas do grupo. O **GT – Cooperação Internacional** não produziu nenhum relatório final neste evento.

A aproximação das empresas às universidades foi tratada como ação prioritária na reunião **GT- RH** que ocorreu em julho de 2010. Para dar viabilidade a essa necessidade foi proposta à realização de minicursos. Esses minicursos contariam com a experiência da Escola de Nanotecnologia da UFRJ e de outras universidades que vêm fazendo uma formação introdutória ao tema da nanotecnologia, com foco voltado para empresas que já atuam com a tecnologia. A partir da primeira experiência do minicurso seria montada uma agenda de trabalho para expansão de outros minicursos para outras cidades.

4.3.4 Fórum de Competitividade: 5º e 6º reuniões (2010)

Somente o **GT- Marco regulatório** se reúne na **5º reunião** do Fórum, realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre. O grupo discutiu a necessidade de debater questões que seriam enfrentadas pelo INPI para tentar aperfeiçoar o processo de registro de patentes. No debate reforça-se a necessidade do desenvolvimento de uma legislação, tanto no uso da legislação existente para os produtos químicos quanto da necessidade de leis que deem autonomia ao Brasil em relação às leis internacionais para produtos com nanotecnologia. Os participantes também apontaram a necessidade de criação de uma rede de laboratórios que pudessem avaliar os produtos nanotecnológicos e ações de formação específicas para os técnicos de agências reguladoras e órgãos de certificação.

Somente na **6º reunião**, denominada II Plenária do Fórum, os demais grupos voltam a se reunir. Nessa reunião o **GT – RH** anunciou a realização de um primeiro evento de interação universidade-empresa previsto para primeiro de setembro de 2010 na CAPES e realização de minicursos orientados pelo ponto de vista do setor produtivo, nas universidades, atendendo as propostas sugeridas anteriormente. O **GT – Cooperação Internacional** informou a organização de uma missão ao Japão, no início de 2011, para encontrar empresários locais e a participação no evento Nanotech. Já os grupos de trabalho do Marco Regulatório e de Mercado elaboraram um balanço de suas atividades até aquele momento.

O **GT – Marco Regulatório** apontou a definição adotada de nanotecnologia pela proposta da ISO/TC 229⁶⁴ e como nanomaterial engenheirado o material nanoestruturado que contém nano-objetos. A produção de nanotecnologia estaria inserida no setor secundário da economia, entre a produção de matéria-prima e a venda de produto ao mercado consumidor. Até aquela data não havia uma

⁶⁴ “Nanotechnology Standardization in the field of nanotechnologies that includes either or both of the following: 1. Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometers in one or more dimensions where the onset of sizedependent phenomena usually enables novel applications. 2.Utilizing the properties of nanoscalematerials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties (ISO/TC 229, 2006).

regulamentação específica para a nanotecnologia, tanto no cenário nacional quanto no internacional. Segundo o relatório final do GT – Marco Regulatório, dois seriam os fatores que estariam impulsionando as discussões sobre a regulação na área: o conhecimento da opinião pública do aumento da gama de produtos com aplicação de materiais nanoestruturados, bem como, do ponto de vista econômico, a demanda de regulação para que as empresas ponderem se utilizam ou não uma nova tecnologia. Tomando estas considerações o GT – Marco Regulatório argumentou que

Até o momento vários produtos de base nanotecnológica já se encontram no mercado, tanto internacional com brasileiro, os registros vêm sendo possíveis empregando as legislações vigentes. Evidentemente, é necessário mencionar que o panorama atua é de indefinições, pois muitas vezes um determinado que chega ao mercado contém sistemas nanoestruturados, mas o fabricante não os declara. Outras vezes, não existe nanotecnologia nos produtos e o fabricante declara haver. Neste sentido caberia a questão, estaria a nanotecnologia “escapando” da regulação? Na verdade a discussão está na ordem do dia. Alguns alegam a necessidade urgente de legislação específica para a nanotecnologia. Em paralelo, há também o posicionamento de que a legislação vigente seria aplicável para regular as nanotecnologias, sobretudo para aquelas pertinentes aos setores econômicos relacionados à produtos e processos destinados à saúde humana (para as quais a legislação existente é bastante rigorosa e baseada em premissas técnicas estritas). Independentemente do posicionamento o que é razoável considerar nas ações a serem adotadas é que necessariamente a regulação deverá ser pautada por parâmetros técnicos metrológicos (MCTI&MDIC, 2010, p. 02).

Levando em consideração que para regular é preciso classificar um produto como nanotecnológico ou não, o GT- Marco Regulatório apresenta novamente a proposta de algoritmo, mencionado no item anterior deste capítulo e disponível para consulta no ANEXO III. Além desta proposta, o esse GT a partir dos diagnósticos realizados nos encontros anteriores propôs:

- (a) a inclusão da Agenda Nanotecnológica nos diversos órgãos reguladores contemplando uma discussão técnica;
- (b) o estabelecimento de Rede de Laboratórios para Análise de Qualidade de Produtos Nanotecnológicos de uso industrial e de uso final;
- (c) o estabelecimento do Marco Regulatório dever-se-á incluir a conceituação para fins de classificação e estabelecimento de graus de risco dos produtos nanotecnológicos o- perfil de tamanho de partículas (granulometria), a - via de contato, a diferenciação de

nanopartículas compostas de materiais insolúveis das nanopartículas de materiais solúveis e a diferenciação das nanopartículas esféricas das nanopartículas fibrosas;

(d) levar em conta aspectos regulatórios de proteção intelectual;

(e) promover interface do Fórum de Nanotecnologia com outros Fóruns de Competitividade da Política de Desenvolvimento de Produto;

(f) a necessidade de levar a conhecimento de todos a nanotecnologia, visto a incipiência de informações, debates, palestras sobre o tema propõe-se - a integração no Fórum de Competitividade em Nanotecnologia para que se destine um olhar valorativo ao ensino sobre a transdisciplinaridade das ciências que engendram a produção e o processo produtivo nanotecnológico, e a divulgação pública, via Estado, das questões sobre Nanotecnologia para integração da sociedade na discussão dos Marcos Regulatórios;

(g) a identificação, pelo GT – Cooperação Internacional, de eventuais barreiras não tarifárias impostas por outros países;

(h) que o Marco Regulatório deverá possibilitar a justificativa de custo de produção pela inserção de nova etapa na cadeia produtiva;

(i) que a Legislação para registro de produtos nanotecnológicos não deve ser específica, mas incluída na legislação do setor econômico ao qual pertencem guardadas as particularidades específicas do setor;

(j) um Curso de Capacitação para os técnicos da ANVISA pelo estabelecimento de Convênios com as Universidades;

(l) a criação do incentivo à inovação em nanotecnologia através da Rede SIBRATEC (MCTI/MDIC, 2013).

As questões relativas à regulação também se firmaram como preocupação para o desenvolvimento da nanotecnologia no relatório final com o resumo das atividades do **GT – Mercado**. O relatório desse grupo indicou a necessidade da participação de agentes de mercado brasileiros em nanotecnologia em fóruns internacionais e a participação no Comitê ISO/TC 229. Para a consolidação de setores produtivos em nanotecnologia o GT – Mercado apontou a necessidade de uma ação integrada para promoção da tecnologia no Brasil, bem como, a manutenção de iniciativas regulares de subvenção pública em nanotecnologia. A partir do levantamento da disponibilidade de infraestrutura dos Laboratórios Nacionais de Nanotecnologia, o grupo também indicou a importância de divulgar informações que permitissem as empresas e outros parceiros acessar esses laboratórios. Os estudos de viabilidade econômica e a identificação dos setores com condições de inserção de produtos nanotecnológicos constituíram ainda a agenda de proposições do GT – Mercado para o desenvolvimento da nanotecnologia no país.

4.3.5 Fórum de Competitividade: 7º e 8º reuniões (2011)

Na **7º reunião**, realizada em 2011 no Instituto Nacional de Tecnologia no Rio de Janeiro, os grupos de trabalho não se reuniram, houve somente plenária aberta com o relato da ABNT sobre o acompanhamento da ISO TC 229 e o indicativo de criação de um Núcleo Empresarial de Nanotecnologia em São Paulo. Além disso, foram discutidos os resultados do *Workshop Nanotecnologias: expectativa da indústria brasileira*, realizado em 2010, foi possível constatar o forte interesse das empresas e das associações setoriais no desenvolvimento da nanotecnologia. Nessa mesma reunião foi reestabelecida a Comissão de Estudo Especial de Nanotecnologia, criada em 2007 pela ABNT.

A definição do plano de trabalho para 2011 e 2012 foi feita na **8º reunião** do Fórum, realizada na USP, em abril de 2011. Os grupos fizeram sugestões e definiram os temas e as ações a serem realizados ao longo daqueles dois anos de trabalho. O **GT – Mercado** indicou a necessidade de definição dos setores estratégicos e competitivos para a nanotecnologia no Brasil e a identificação daqueles que possivelmente teriam condições de comercializar produtos nanotecnológicos. Além disso, a promoção de estratégias de produção de insumos e a avaliação das possibilidades de financiamento foram temas destacados como de interesse para os trabalhos do período. Dentre as ações a serem realizadas pelo GT – Mercado entre 2011 e 2012 ficou sugerido à realização de uma rodada de negócios entre atores – empresas, fornecedores, centros de P&D – dos setores estratégicos que seriam definidos. O apoio tanto à criação de uma plataforma direcionada para as patentes de nanotecnologia, quanto ao Núcleo Empresarial de Nanotecnologia compuseram a pauta de trabalho desse grupo.

A definição dos setores estratégicos orientariam as ações do GT-Cooperação internacional. A partir dessa definição o **GT – Cooperação Internacional** iria discutir quais deveriam participar das próximas missões de prospecção internacional. As ações do grupo se articularam em torno deste tema: avaliar a missão realizada no Japão em 2011, selecionar novos países para outras missões, definir objetivos e buscar parceiros para as novas missões a

serem organizadas. Para o grupo do **Marco Regulatório** os grandes temas para discussão durante o período mencionado seriam a revisão do documento sobre regulação produzido pelo grupo em 2010, a inclusão da nanotecnologia na agenda dos órgãos reguladores nacionais e a discussão sobre os serviços de padronização. Acompanhando a discussão as duas ações que direcionariam os esforços do grupo seriam: (a) propor a composição de uma rede laboratorial para análise da qualidade dos produtos de uso industrial e também aqueles destinados ao consumidor final; (b) acompanhar as discussões da ISO TC 229.

Para o **GT – RH** continuaram as discussões sobre as aptidões nacionais para a área e articulação com os órgãos de governo. Três foram os grandes temas elencados como meta: a formação de profissionais para a área, o levantamento das competências existentes no Brasil para apoio em forma de serviço e a presença de mestres e doutores nas empresas. Ficou marcado que não havia definição sobre uma formação especializada e os temas relacionavam-se com os diferentes níveis de ensino. As ações previstas para o nível do Ensino Técnico foram: (a) a formação de um comitê com representação do Fórum, do MEC e SENAI/SESI para discutir a questão da nanotecnologia nesse nível de ensino; (b) o levantamento de sugestões para complementar com o tema da nanotecnologia nos currículos dos cursos técnicos já existentes; (c) uma formação voltada para técnicos da microscopia. Para o nível Superior foi indicada a necessidade de articulação entre Fórum e outras instâncias do governo – MEC, MCTI e CNPq - para realizar um estudo sobre o cenário dos cursos de graduação no nível mundial, que tratam da nanotecnologia. Complementando a ação anterior, o grupo propôs a realização de um levantamento sobre a opinião de pesquisadores e de professores especialistas na área no Brasil. Com esses subsídios, o grupo buscava estabelecer linhas mestras para a formação de estudantes no Brasil em nanotecnologia.

4.3.6 Fórum de Competitividade: 9º e 10º reuniões (2011)

Em maio de 2011 por ocasião da **9º reunião** realizada na ABIPLAST, foi possível realizar a primeira observação participante no Fórum e nas discussões do GT-RH. Naquela ocasião observamos que os participantes dos grupos tinham frequência flutuante, somente a parte da coordenação e poucos participantes possuíam participação ativa em todas as atividades do Fórum. No entanto, o espaço de discussão tinha palavra aberta a qualquer pessoa que estivesse presente na plenária ou nas reuniões de cada grupo.

As informações disponíveis sobre as atividades realizadas pelos grupos Mercado e Marco Regulatório são bastante escassas para esse evento. No entanto, um resumo das discussões foi apresentado na plenária aberta ao final das atividades. O GT-Cooperação Internacional não teve atividades naquele evento. O Núcleo Empresarial de Nanotecnologias criado após a 7º reunião do Fórum fez a proposta da realização de um *workshop* empresarial, aproveitando a experiência do *workshop* realizado em 2010 na FIESP. O **GT – Mercado** teve como destaque os temas da formação de recursos humanos para a nanotecnologia e as implicações de um marco regulatório para o mercado. Em termos de recursos humanos, os participantes destacaram a necessidade da inclusão de conteúdos de gestão, noções de negócio e mercado na formação para a nanotecnologia. A qualificação ideal contemplaria não somente os aspectos técnicos relacionados à tecnologia, mas também, conteúdos que permitissem a ciência romper a barreira da academia e adquirir contornos de negócio. Sobre a regulação o grupo destacou a preocupação de implicações para setores que não estão diretamente envolvidos com atividades de nanotecnologia e que possam ser afetados negativamente com uma regulamentação que não seja adequadamente elaborada. Pela perspectiva do tema **Marco Regulatório**, o grupo indicou que concentraria as ações na construção de um documento sobre regulação, em parceria com a ABDI. Representantes da ANVISA sinalizaram o preparo de uma oficina para subsidiar um curso de capacitação de técnicos.

Naquela reunião, foi possível aprofundar as questões de formação, sendo identificado que além da formação de profissionais em todos os níveis educacionais, o trabalhador precisaria de competências específicas vinculadas à base interdisciplinar da tecnologia. Os participantes do **GT- RH** ressaltaram

requisitos como *capacidade de trabalhar em equipe*, os *segurança e riscos*, *capacidade de comunicação* com outras áreas do conhecimento, como *know-how* da formação para a nanotecnologia. Outro ponto forte das discussões foi a necessidade de *formação continuada* para profissionais em atividade, tanto técnicos quanto graduados, como medida para evitar possíveis impactos negativos sobre o emprego. Ao mesmo tempo, a formação continuada produziria impacto positivo na qualificação de novas gerações de trabalhadores. Do ponto de vista da formação de áreas de apoio para as atividades de nanotecnologia, a caracterização de materiais e dispositivos, incluindo os riscos da tecnologia e a toxicidade de materiais, foram consideradas relevantes para a qualificação técnica. O último item da pauta foi sobre aos problemas existentes na infraestrutura, principalmente o acesso aos laboratórios nacionais. O estímulo para o trabalho de pesquisa, feito nos laboratórios nacionais, foi considerado importante, uma vez que algumas atividades dependem restritamente da qualidade da infraestrutura, como por exemplo, a microscopia.

Na **10º reunião** realizada em 2011, definiram-se as linhas mestras do **GT-RH**, o alinhamento de um segundo *workshop* e a apresentação do escopo do estudo de regulação, organizado pela ABDI. O **GT-Marco Regulatório** apresentou os tópicos do estudo sobre regulação. A ABDI deveria contratar uma entidade sem fins lucrativos para elaboração de estudo sobre o marco legal e normas técnicas⁶⁵. O foco seria o impacto no desenvolvimento de inovações de base nanotecnológica pela indústria brasileira, comparando o Brasil com a União Europeia, MERCOSUL, Canadá, EUA, Rússia, Japão, China, Coreia e Índia. Além da competitividade que a nanotecnologia poderia trazer a indústria, os itens do estudo deveriam contemplar a pesquisa, o desenvolvimento, a produção, a utilização, a reciclagem e o descarte de produtos que utilizam a nanotecnologia,

As linhas mestras, que começaram a ser discutidas na 9º reunião do Fórum, foram retomadas na 10 º reunião. Nessa oportunidade o GT- RH definiu como linhas mestras para as discussões e sugestões do grupo:

⁶⁵ Até 2013 as publicações da ABDI sobre regulação foram direcionadas para a área da saúde e estão disponíveis para consulta na página: <<http://www.abdi.com.br/Paginas/estudo.aspx?f=Nanotecnologia>>

I- É necessário formar bons profissionais em todos os níveis em áreas convencionais e com capacidade de trabalhar em equipe e com segurança. Deve-se priorizar a boa formação em cursos estabelecidos, pois Nanotecnologia é fortemente INTERDISCIPLINAR e precisa de competências específicas muito aprofundadas.

Acrescentar habilidades de comunicação com outras áreas é importante.

II- A formação continuada/permanente de profissionais já em atividade – técnicos e graduados em atuação – deve ser priorizada como uma das medidas possíveis para evitar impactos negativos sobre o emprego. Sugere-se também o apoio aos profissionais de ensino para que incluam nas suas aulas os conceitos de nanociência e Nanotecnologia e assim produzam impacto positivo na formação de novas gerações.

III- A caracterização de materiais e dispositivos de uma forma ampla, e inclusive em gestão de riscos e toxicidade, é uma área onde formação de RH é fundamental para apoio às atividades da nanotecnologia.

IV- Existem problemas de acesso à infraestrutura que precisam ser enfrentados.

Estimular trabalhar em forma de laboratórios nacionais é importante. Por exemplo, bons microscopistas devem ter acesso a bons microscópios (MCTI&MDIC, 2013).

Apesar da elaboração das linhas mestras observamos que não havia articulação com entidades que pudessem colocar essas metas em prática, uma vez que o Fórum tinha caráter consultivo e pouca mobilidade para ação em termos de formação de recursos humanos. Além dos aspectos da qualificação, naquela reunião a pauta do grupo direcionou-se para a definição de para quais setores industriais deveriam ser direcionar os esforços de formação para a nanotecnologia. Foram identificados dois grandes grupos industriais: o primeiro composto por aqueles setores que já demandavam trabalhadores para atuar com atividades de nanotecnologia, ou seja, de alguma forma já haviam iniciado atividades de pesquisa e produção e o segundo grande grupo, composto por setores ainda sem demanda, mas com potencial necessidade para um futuro próximo.

No segundo grupo foram elencados setores que mesmo não necessitando explicitamente de trabalhadores naquele momento, deveriam ser estimulados a desenvolver a nanotecnologia em função dos benefícios, segundo alguns dos participantes, que poderiam colher em termos de competitividade e do interesse do país. No primeiro grupo ficaram a princípio os setores de *Cosméticos/fármacos, Eletroeletrônica, Agronegócio e Petróleo*, ficando aberta a

inclusão de novos setores conforme a identificação de necessidade. E *Materiais, Energia, Saúde, Ambiental, Química, Petroquímica, Têxtil e Alimentos / Embalagens* como aqueles em processo de expansão de atividades e de necessidade de estímulo para desenvolvimento da tecnologia.

Naquela reunião ficou definida a realização de um novo *workshop*, previsto para ser realizado na unidade do SENAI de São Bernardo do Campo (SENAI Mario Amato). O *workshop* seria organizado de modo a integrar as demandas do setor industrial com as competências dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) que tivessem foco em nanotecnologia. Além de representantes dos INCTs seriam convidados cinco entidades empresariais para realizar apresentações no *workshop*: Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) e Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ). O *workshop* foi realizado, com as entidades convidadas e também com uma apresentação da FINEP.

Identificando as necessidades do grupo e os objetivos de pesquisa desta tese, sugerimos que fosse realizado um diagnóstico da demanda de qualificação em nanotecnologia por parte do setor industrial. A questão orientadora do trabalho foi: *qual é o perfil profissional desejado nos diversos níveis educacionais?* A proposta teve acolhida na coordenação do Fórum e em colaboração com a coordenadora do GT, Dr^a Glaura Goulart Silva, foi elaborado um questionário a ser distribuído aos participantes do próximo *Workshop*, realizado em novembro daquele ano⁶⁶, que teve um foco bastante empresarial.

4.3.7 Fórum de Competitividade: 11º (2011) e 12º reuniões (2012)

A última reunião do ano de 2011, a **11º reunião** do Fórum, foi realizada na sede da ABIQUIM em São Paulo. O fórum foi aberto ao tema da *Nanotecnologia e*

⁶⁶ Os resultados deste questionário foram apresentados no ano de 2012 e são trabalhados no próximo capítulo desta tese.

Negócios, com apresentações de empresas e mesas de discussão de setores produtivos⁶⁷. As empresas Biolab, Brasil Foods, Natura e Petrobrás debateram quais as necessidades e desafios tecnológicos identificados no curto prazo, de que forma a nanotecnologia poderia contribuir para solucionar esses desafios e como cooperar para atender essas necessidades. As apresentações das empresas destacaram o papel inovador e de diferencial de produto que a nanotecnologia pode oferecer em relação ao mercado concorrente e, portanto, a possibilidade de incremento competitivo dessas empresas. As palavras de ordem foram *innovar para melhor competir*. Nessa reunião os grupos de trabalho do fórum não se reuniram e não foi feita a observação participante.

Os trabalhos do Fórum em 2012 se deram em abril, na sede da ABIPLAST, em São Paulo. Na **12º reunião** do Fórum, além da apresentação de um representante da FIAT sobre as expectativas da empresa sobre a entrada da nanotecnologia na produção industrial, houve o anúncio por parte do MCTI da como a criação do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO) e o estabelecimento da Comissão Interministerial de Nanotecnologia (CIN). Na plenária ficou claro que não estava definido qual o papel do Fórum na nova configuração das discussões sobre a nanotecnologia no Brasil. A estrutura proposta para o CIN, na apresentação feita pelo MCTI, para a criação da Secretaria Especial de Nanotecnologias, coloca o Fórum com a possibilidade de atuação consultiva da Secretaria Especial, mas naquela ocasião havia dúvidas entre os participantes inclusive da continuidade das atividades do Fórum. A figura 3 apresenta a estrutura proposta para as discussões da nanotecnologia no MCTI naquela ocasião.

67 Mesas temáticas: Agronegócio, Cosméticos, Materiais e Químicos.

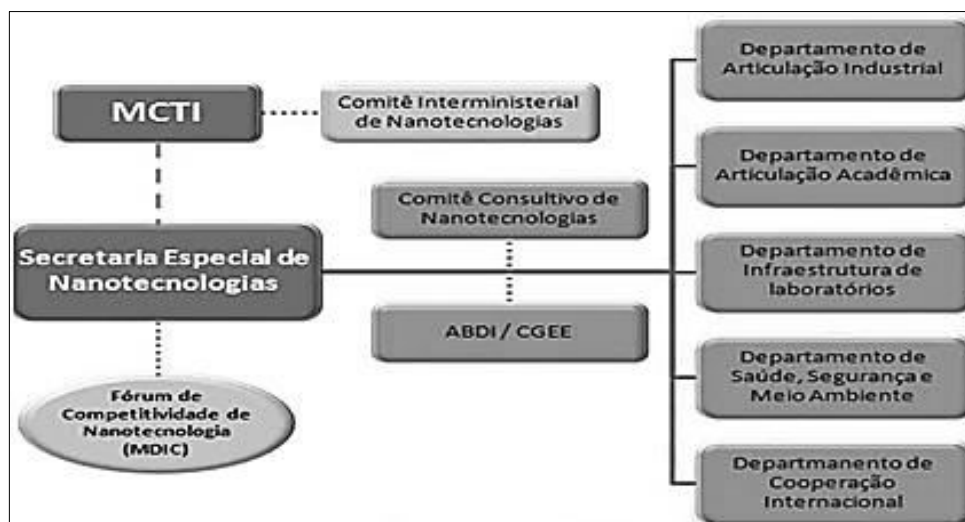


FIGURA 3. PROPOSTA DA ESTRUTURA PARA A SECRETARIA ESPECIAL DE NANOTECNOLOGIA.

Fonte: MCTI, 2012.

Para o **GT-RH** aquele foi o momento de apresentar e discutir os resultados obtidos através dos questionários aplicados aos participantes no *workshop* de 2011. Estiveram presentes representantes do SENAI e SESI de São Paulo, que declararam estarem presentes para informar-se sobre as discussões do grupo sobre demandas de qualificação para a nanotecnologia⁶⁸. Os resultados foram apresentados somente no âmbito do GT-RH, os demais grupos puderam acessar os resultados pela internet na página do MDIC. As conclusões gerais indicaram que atualmente a demanda de formação se direcionava para uma qualificação de nível superior, principalmente para pesquisadores. Trabalhar em equipe, boa comunicação, capacidade de interagir com colegas de outras áreas do conhecimento, foram algumas das principais características indicadas como necessárias para trabalhar em processos produtivos que vem incorporando a nanotecnologia⁶⁹.

As perspectivas de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil foi o tema da discussão do **GT-Mercado**. Do ponto de vista da ampliação de mercado os participantes sugeriram a necessidade de identificar empresas que possam servir

⁶⁸ A apresentação dos resultados pode ser obtida no link: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1336679126.pdf>.

⁶⁹ Os resultados foram incorporados aos demais questionários coletados para essa tese, uma vez que a elaboração e análise foram feitas alinhadas aos objetivos deste trabalho.

como ancoras para o setor, além do reforço sobre a necessidade de identificação dos setores potenciais para a nanotecnologia no país. A segunda perspectiva discutida foi o adensamento produtivo e tecnológico das cadeias de valor. O grupo identificou a necessidade de aceleração na formação de arranjos produtivos locais e o fomento para a produção dos principais insumos, utilizados pela nanotecnologia, nas cadeias produtivas. O terceiro ponto da discussão foi a criação e fortalecimento de competências críticas apontadas como sendo: marco regulatório, quantidade de laboratórios certificados, formação de mão de obra especializada e infraestrutura de pesquisa.

4.3.8 Fórum de Competitividade: 13º (2012) e 14º reuniões (2013)

A partir da **13º reunião** é possível identificar uma alteração na organização do Fórum: a ausência das reuniões dos grupos de trabalho e a presença crescente de casos de utilização comercial da nanotecnologia. A Secretaria de Inovação do MCTI fez uma apresentação com o tema *Orientações Para Diagnóstico do Mercado de Nanotecnologias no Brasil: forças, fraquezas, oportunidades e ameaças*, em que abordou algumas questões sobre qualificação de força de trabalho. A apresentação fez um apanhado das discussões realizadas pelos grupos de trabalho realizados até aquela data. A tabela 2 abaixo resume os quatro elementos elencados no diagnóstico.

TABELA 2 – ELEMENTOS DO DOCUMENTO: ORIENTAÇÕES PARA DIAGNÓSTICO DO MERCADO DE NANOTECNOLOGIAS NO BRASIL

FORÇAS	FRAQUEZAS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
(i) Presença de pesquisadores com reconhecimento internacional em nanociências	(i) Falta de recursos humanos com RH as competências e habilidades demandas pela indústria	(i) Mercado em expansão para Nanomateriais e aplicações na cadeia de valor;	(i) Marco regulatório inadequado ao desenvolvimento da pesquisa e do mercado continua

FORÇAS	FRAQUEZAS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS conclusão
<p>(ii) Disponibilidade de infraestrutura no país que atendem as necessidades de desenvolvimento da pesquisa</p> <p>(iii) Existência de setores industriais com potencial de apropriação das novas tecnologias</p>	<p>(ii) Falta de insumos nacionais e a dependência das importações para a produção de nanomateriais;</p> <p>(iii) Ausência de um planejamento estratégico e coordenado;</p> <p>(iv) Ausência de continuidade e integração de investimentos;</p> <p>(v) Falta de pesquisa e dados sobre a área de toxicologia e segurança sobre nanotecnologia;</p> <p>(vi) Necessidade de melhoria na avaliação do marco regulatório;</p> <p>(vii) Dificuldades que as pequenas e microempresas encontrar para investir em capital de risco;</p> <p>(viii) Fraca cultura da propriedade intelectual pela indústria e academia</p> <p>(ix) Infraestrutura deficiente para atender com agilidade a concessão de patentes pelo INPI</p>	<p>(ii) Percepção positiva de que a nanotecnologia precisa da interação entre a academia e a indústria;</p> <p>(iii) Demanda espontânea do setor industrial por conhecimento na área, mesmo que ainda no estágio prospectivo</p> <p>(iv) disponibilidade de reservas de recursos minerais para a produção de insumos</p> <p>(v) Potencialidades da associação entre a nanotecnologia e a <i>química verde</i></p>	<p>(ii) Falta de articulação entre a regulação nacional e internacional</p> <p>(iii) O sistema produtivo não tem estratégia para acompanhar um processo de transformação rápida</p> <p>(iv) O ambiente de negócios instável para empresas de pequeno porte que dependam da inserção de seus produtos nanotecnológicos</p> <p>(v) Ausência de barreiras comerciais efetivas para a entrada de produtos nanotecnológicos importados no mercado nacional</p> <p>(vi) Falta ou inoperância de instrumentos de apoio ao crescimento de micro e pequenas empresas de base tecnológica.</p>

Fonte: MDIC, 2012.

As ações para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil tiveram nas discussões do Fórum espaço para a captação de diferentes opiniões sobre o tema e a composição de massa crítica para a continuidade das atividades governamentais. No entanto, em 2013, com apenas uma reunião - **a 14º** - o Fórum assumiu a forma de espaço informativo das iniciativas governamentais

para a área no lugar do espaço consultivo construído ao longo dos quatro anos anteriores. A 14ª reunião aconteceu em 2013 na FIESC em Florianópolis, durante a terceira edição do *Workshop Nanotecnologias*, promovido pelo MCTI e MDIC. Não houve menção aos grupos de trabalhos e as apresentações do MCTI, CNPq, FINEP e BNDES tiveram como objetivo apresentar aos empresários presentes, a iniciativa de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil.

4.4 SÍNTESE

A iniciativa pública para a nanotecnologia no Brasil possui como apelo marcante estar relacionada à capacidade de inovação tecnológica industrial. A criação de infraestrutura, a disponibilidade de recursos humanos e os investimentos em projetos em setores estratégicos, marcam as linhas mestras das políticas para o desenvolvimento da nanotecnologia no país. A estratégia de formação e manutenção de trabalhadores qualificados para atender a progressão da nanotecnologia tem se localizado principalmente no nível superior e na pós-graduação. As redes de pesquisa e os laboratórios nacionais, além das pesquisas desenvolvidas nas universidades e institutos de ciência e tecnologia, atuam como ancoradouro dos projetos de desenvolvimento de produtos, processos e materiais de base nanotecnologia. A transferência desse conhecimento para a sociedade tem sido incentivada pela articulação entre empresa-academia, tendo como prioridade o interesse comercial.

O debate sobre a demanda de trabalhadores qualificados para a nanotecnologia teve no Fórum de Competitividade um espaço público importante na identificação das necessidades atuais do mercado da nanotecnologia. Concentradas no GT-RH, ainda que não exclusivamente, as discussões sobre a necessidade de trabalhadores qualificados para a nanotecnologia não diferem das realizadas em nível internacional. Nota-se pelos documentos consultados dos diferentes grupos de trabalho, que a principal preocupação, neste momento de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, é da formação de trabalhadores de alto nível de escolaridade, destinados principalmente à pesquisa. Há pouca

preocupação com a oferta do nível técnico e com aqueles que já estão trabalhando com a nanotecnologia na indústria. As iniciativas de formação têm optado pela articulação entre universidades, institutos de pesquisa e setor privado na transferência e/ou parceria na inovação tecnologia. A aproximação da pesquisa acadêmica com as necessidades do setor produtivo é ponto recorrente, tanto no conteúdo das políticas de desenvolvimento industrial, científico e tecnológico, e apareceram fortemente nos debates realizados no Fórum de Competitividade em Nanotecnologia.

CAPÍTULO 5. QUE *COMPETÊNCIAS* SÃO NECESSÁRIAS PARA TRABALHAR COM A NANOTECNOLOGIA?

Os dados da pesquisa empírica estão expostos ao longo deste capítulo. Optamos por analisar os dados coletados na pesquisa empírica em comparação com o levantamento bibliográfico e a pesquisa documental. Três aspectos do fenômeno foram abordados: (i) a demanda de qualificação das empresas e os arranjos de competências dos trabalhadores que já atuam em atividades que envolvem a nanotecnologia; (ii) a oferta educacional dos cursos de graduação na área de nanotecnologia, atualmente vigentes no Brasil; (iii) a opinião de pesquisadores da área sobre as necessidades de qualificação para a nanotecnologia. Esses aspectos foram escolhidos enquanto tentativa de articulação de dados que pudessem ser complementares e que fornecessem elementos para conhecer quais os requisitos necessários para trabalhar com a nanotecnologia neste seu momento histórico de desenvolvimento⁷⁰.

Para analisar a demanda e as práticas empresariais de arranjos da força de trabalho foram realizados 22 questionários, respondidos por representantes de empresas que atualmente desenvolvem, pesquisam e/ou comercializam produtos que utilizam a nanotecnologia. São dois os tipos de empresas que compõem o escopo da pesquisa empírica: (i) as empresas que incorporam em seu processo produtivo a nanotecnologia como uma inovação para seus produtos, em desenvolvimento e/ou comercialização, denominadas **incorporadoras**; (ii) àquelas que fornecem um insumo e/ou uma solução tecnológica baseada na nanotecnologia para outras empresas, denominadas **fornecedoras**. Foram consultadas 12 empresas incorporadoras e 10 fornecedoras. Os aspectos que apresentam similaridade entre os dois tipos de empresas são apresentados indistintamente, ou seja, analisados em conjunto. Os dados que são particulares a cada tipo de empresa são analisados separadamente, devidamente sinalizados durante o texto.

⁷⁰ Os questionários elaborados para a pesquisa empírica estão no Apêndice 1 ao final desta tese.

A oferta educacional de nível superior foi examinada a partir dos depoimentos dos coordenadores e vice-coordenadores dos três cursos de graduação, atualmente em andamento no Brasil, que têm por especialidade a nanotecnologia. Complementar a essas fontes foram entrevistados⁷¹ seis pesquisadores e um representante de entidade sem fins lucrativos para à educação e informação dos trabalhadores na divulgação da nanotecnologia. Buscamos, com tais entrevistas, obter a visão de especialistas da área que detêm um “conhecimento ponte” entre o mundo da pesquisa e formação, e o âmbito dos processos produtivos que incorporam a nanotecnologia.

Os três tipos de questionários foram elaborados conforme os objetivos específicos desta tese. Aos representantes das empresas entrevistadas questionamos:

- Quais as atividades desenvolvidas pela empresa que utilizam a nanotecnologia?
- Qual a qualificação idealmente desejada para o setor?
- Quais as competências demandadas por empresas que já atuam utilizando a nanotecnologia?
- Os trabalhadores atualmente possuem qualificação técnica para trabalhar com a nanotecnologia?
- Qual o perfil educacional dos trabalhadores envolvidos em atividades nanotecnológicas?
- Como os trabalhadores estão sendo organizados para atender a utilização da nanotecnologia na empresa?
- Quais as perspectivas de continuidade das atividades que envolvem a nanotecnologia?

Os questionários aplicados aos coordenadores dos cursos de graduação visaram observar quais orientações curriculares têm norteado a proposta de formação de profissionais para o mercado da nanotecnologia. Dessa forma, os questionários visaram obter informação sobre:

⁷¹ Dois pesquisadores foram entrevistados e os demais responderam as mesmas perguntas dessas entrevistas, via questionário eletrônico.

- As iniciativas educacionais em nanotecnologia no nível de graduação atualmente desenvolvidas no país;
- O tipo de oferta dos cursos em relação à questão de uma formação especializada ou geral para a nanotecnologia que se relaciona a questão da interdisciplinaridade;
- A relação da oferta (cursos graduação) e da demanda (empresas) neste estágio de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil.

Finalmente, as entrevistas realizadas com os pesquisadores especialistas da área estiveram centradas nas seguintes temáticas:

- Identificar a percepção da academia sobre o potencial revolucionário da nanotecnologia;
- Analisar qual o ponto de vista sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil;
- Identificar se há obstáculos ao desenvolvimento da tecnologia no Brasil;
- Levantar os setores industriais com maiores possibilidades de incorporação da nanotecnologia;
- Observar se a entrada da nanotecnologia nas cadeias produtivas pode trazer alguma implicação para a atual organização da produção e para os trabalhadores;
- Identificar se há necessidade de qualificação específica para a nanotecnologia;
- Confrontar a opinião internacional sobre a possível escassez de trabalhadores com o ponto de vista dos pesquisadores;
- Identificar quais seriam os profissionais e os níveis de ensino que demandariam treinamento para a nanotecnologia;
- Identificar os principais conteúdos e técnicas componentes da qualificação técnica para a nanotecnologia;
- Levantar a opinião sobre a oferta educacional para a tecnologia no Brasil.

Na sequência do capítulo apresentamos os resultados da pesquisa empírica e discutimos os resultados alcançados. Os dados são analisados em

dois blocos temáticos para cada tipo de entrevistado: em um bloco as percepções sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil e outro com a questão da qualificação para a nanotecnologia. Na seção 5.1 são apontados os dados coletados com as empresas com a identificação do perfil das empresas, o perfil dos trabalhadores e a forma como se organiza o trabalho. A seção 5.2 contém os dados sobre a oferta educacional de nível superior com o histórico e organização curricular de cada um dos três cursos de graduação em nanotecnologia. No mesmo item, apresentamos as expectativas sobre o mercado de trabalho e as possibilidades de atuação para os profissionais formados nestes cursos. No item 5.3 expõem-se o ponto de vista dos pesquisadores sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil e as possíveis necessidades educacionais para a área. Ao final do capítulo é realizada a análise visando estabelecer as relações com entre as dimensões do fenômeno de forma contextualizada à revisão bibliográfica e pesquisa documental.

5.1 O PERFIL DAS EMPRESAS PESQUISADAS E AS EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA

Os dados apresentados neste item provêm de 22 questionários semiestruturados coletados entre os anos de 2011 e 2013⁷². Do total de questionários, 13 deles foram coletados em parceria com o Fórum de Competitividade de Nanotecnologia, junto aos representantes de empresas que participaram do *Workshop Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios*, realizado no SENAI Mario Amato – São Bernardo do Campo, em outubro de 2011. Os demais questionários (9) fizeram parte da coleta realizada entre 2011 e 2013, em contato via e-mail com empresas identificadas como atualmente realizando atividades em nanotecnologia. Os questionários aplicados entre 2012 e 2013 (7) possuem algumas alterações que visaram refinar a coleta de dados, por esse motivo alguns parâmetros são atribuídos somente a esses sete

⁷² Foram coletados 23 questionários no evento do Workshop Nanotecnologias em 2011, no entanto, somente 13 apresentaram dados que permitiram uma análise integral e comparada entre os questionários coletados. Os demais questionários foram coletados ao longo de 2012 e 2013, via contato direto com as empresas.

questionários. No entanto, a maior parte das questões foi igual nas duas fases da coleta de dados e, portanto, analisadas conjuntamente. As questões que aparecem somente nos questionários coletados em 2012 e 2013 estão indicadas na sequência do texto.

As tabelas 3 e 4 indicam a quantidade de empresas pesquisadas segundo a classificação de incorporadoras – identificadas nas tabelas como I1, I2, I3, etc. – e fornecedoras de insumos/soluções nanotecnológicas - identificadas como F1, F2, F3, etc. – bem como, a cadeia produtiva a qual os produtos ou insumos pertencem.

TABELA 3 – EMPRESAS INCORPORADORAS DE NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA

EMPRESAS	PRODUTO(S) OU INSUMO(S) DA EMPRESA, RELACIONADO(S) À NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA*
I1	<u>Setores de atividade</u> : Produtos médico-hospitalares e <i>kits</i> de diagnóstico <u>Produtos</u> : Gel clareador e enxertos
I2	<u>Setores de atividade</u> : Produtos e insumos químicos para uso industrial; Cosméticos. <u>Produto(s)</u> : não especificado pela empresa
I3	<u>Setores de atividade</u> : Produtos médico-hospitalares e <i>kits</i> de diagnóstico; Produtos e insumos químicos para uso industrial; Cosméticos; Têxtil <u>Produto(s)</u> : não especificado pela empresa
I4	<u>Setores de atividade</u> : Produtos e insumos químicos para uso industrial; Energia; Petróleo e Gás. <u>Produto(s)</u> : Nanocompósitos, revestimentos e sensores.
I5	<u>Setor de atividade</u> : Petróleo e Gás <u>Produto(s)</u> : não especificado pela empresa
I6	<u>Setor de atividade</u> : Indústria Química <u>Produto(s)</u> : Silicone condutivo, isolantes e condutores de calor
I7	<u>Setor de atividade</u> : Medicamentos <u>Produto(s)</u> : Silicone condutivo, isolantes e condutores de calor
I8	<u>Setores de atividade</u> : Produtos e insumos químicos para uso industrial; Plásticos. <u>Produto(s)</u> : Utensílios plásticos
I9	<u>Setor de atividade</u> : Alimentos <u>Produto(s)</u> : não especificado pela empresa
I10	<u>Setor de atividade</u> : Metal Mecânico <u>Produto(s)</u> : Nanocerâmica
I11	<u>Setor de atividade</u> : Têxtil <u>Produto(s)</u> : Vestuário com hidratante corporal continua

EMPRESAS	PRODUTO(S) OU INSUMO(S) DA EMPRESA, RELACIONADO(S) À NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA* conclusão
I12	<u>Setor de atividade</u> : não especificado pela empresa <u>Produto</u> relacionado à síntese de DNA e RNA

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

* Somente parte das empresas indicou o produto ou insumo que utiliza/desenvolve relacionado à nanotecnologia

TABELA 4 – EMPRESAS FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA.

EMPRESA	INSUMO/SOLUÇÃO DA EMPRESA, RELACIONADO(S) À NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA*
F1	<u>Setores de atividade</u> : Indústria química; Eletrônica <u>Produto(s)</u> : Nanopartículas de prata/Recobrimentos antimicrobianos
F2	<u>Setor de atividade</u> : Indústria química de transformação <u>Produto(s)</u> : Compostos luminescentes orgânicos e inorgânicos
F3	<u>Setores de atividade</u> : Produtos médico-hospitalares e <i>kits</i> de diagnóstico; Medicamentos; Cosméticos; Alimentos <u>Produto(s)</u> : Nanopartículas para <i>drug delivery</i>
F4	<u>Setor de atividade</u> : Produtos médico-hospitalares e <i>kits</i> de diagnóstico <u>Produto(s)</u> : Anticorpos Sintéticos
F5	<u>Setor de atividade</u> : Alimentos <u>Produto(s)</u> : Bio ativos
F6	<u>Setor de atividade</u> : Cosméticos <u>Produto(s)</u> : Nanopartículas biodegradáveis e biocompatíveis
F7	<u>Setores de atividade</u> : Indústria química da transformação; Produtos e insumos químicos para uso industrial; Produtos médico-hospitalares e <i>kits</i> de diagnóstico; Medicamentos; Cosméticos <u>Produto(s)</u> : não especificado pela empresa
F8	<u>Setores de atividade</u> : Produtos e insumos químicos para uso industrial; Têxtil <u>Produto(s)</u> : Nanopartículas de prata
F9	<u>Setor de atividade</u> : Agronegócio <u>Produto(s)</u> : Sensores, filmes comestíveis e polímeros continua

EMPRESA	INSUMO/SOLUÇÃO DA EMPRESA, RELACIONADO(S) À NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO A CADEIA PRODUTIVA* conclusão
F10	<u>Setor de atividade:</u> Agronegócio <u>Produto(s):</u> Sensores e catalizadores

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

* Somente parte das empresas indicou o produto ou insumo que utiliza/desenvolve relacionado à nanotecnologia

Os produtos destinados à *Indústria Química*, os *produtos médico-hospitalares* e *kits de diagnóstico* tiveram maior representatividade nas empresas pesquisadas. Embora de acordo com a pesquisa documental e alguns relevamentos de empresas brasileiras apresentados anteriormente (MCTI, 2003; MCTI, 2014; INVERNIZZI *et al.*, 2012; PLENTZ, 2013), esses setores estão entre os mais ativos na P&D de nanotecnologia no Brasil, as empresas pesquisadas não compõem uma amostra real do universo de empresas brasileiras que atuam na área. Para além da dificuldade de acesso às empresas, fator relevante na configuração do conjunto de empresas pesquisadas, determinar uma amostra representativa sem haver critérios bem definidos que permitissem identificar estritamente o universo de empresas brasileiras atuando em nanotecnologia, foi um complicador na coleta de dados. Entretanto, o que o conjunto de empresas pesquisadas ilustra é a característica da interface da nanotecnologia com o setor produtivo, sua possibilidade de aplicação transectorial. Esse atributo pode ser observado na amplitude de atividades indicadas pelos representantes das empresas que responderam aos questionários. Além disso, as soluções nanotecnológicas ofertadas pelas empresas correspondem às cadeias produtivas que vêm incorporando a nanotecnologia aos seus processos produtivos, ainda que os dados coletados não permitam afirmar que há relação comercial entre as empresas pesquisadas.

O perfil das empresas pesquisadas, além da diversidade de setores produtivos, indica que empresas de todos os portes estão investindo em nanotecnologia. No entanto, existem diferenças quanto à relação com a nanotecnologia entre a empresa e seu porte. As incorporadoras de nanotecnologia são empresas que possuem maior quantidade de trabalhadores

empregados, enquanto as fornecedoras de insumo/solução nanotecnológica caracterizam-se por uma menor quantidade de trabalhadores empregados. São exemplos de insumos/soluções nanotecnológicas fornecidos por essas empresas: maior capacidade de penetração de um cosmético na pele devido ao tamanho da partícula utilizada, incorporação de nanomateriais aos tecidos que liberam hidratante conforme o uso da roupa, e o uso de nanopartículas de prata de efeito bactericida em roupas, metais, tintas e superfícies. No caso das empresas incorporadoras de nanotecnologia, os exemplos possíveis de serem identificados foram: a utilização da capacidade de *drug delivery* em alguns medicamentos e alimentos funcionais, utilização de pintura bactericida feita com nanopartículas de prata em algumas superfícies, incorporação de nanotecnologia ao plástico, à equipamentos e produtos odontológicos.

Em relação às expectativas de para os negócios para a nanotecnologia, somente uma, do total das 22 empresas consultadas, declarou que não pretende expandir suas atividades na área. Tal empresa é fornecedora de insumo/solução nanotecnológica e indicou como fatores para não expandir suas atividades as dúvidas em relação ao mercado para a nanotecnologia e a falta de regulamentação. Semelhante às expectativas de expansão das atividades em nanotecnologia em nível global (EUROPEAN COMMISSION, 2013; MALSCH, 2013; ABDI, 2013, 2012; HWANG & BRADLEY, 2010; PCAST, 2010; ROCO *et al.*, 2010; HELMUT KAISER, 2007) as empresas brasileiras sinalizam que os investimentos e atividades para a nanotecnologia tendem a se expandir. Contudo, as empresas sinalizam que haveria alguns obstáculos para concretizar tal expansão. Estes fatores estão indicados na tabela 5.

TABELA 5 - OBSTÁCULOS PARA EXPANSÃO DAS ATIVIDADES EM NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO AS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS

EMPRESA	Alto custo P&D	Vantagens menores que as esperadas	Falta de pessoal qualificado	Falta de mercado consumidor	Efeitos da crise	Ausência de laboratórios nacionais	Incertezas sobre a regulamentação	Outros
I1	x	x			x			
I2	x	x				x		
I3	x		x		x			
I4								x*
I5			x					
I6	x							x**
I7	x		x			x		
I8	x	x						
I9	x	x					x	
I10					x	x		
I11	x		x					
I12	x	x	x			x		
TOTAL	9	5	5	0	3	4	1	2
F1		x	x					
F2			x	x	x		x	
F3	x	x	x					
F4							x	
F5	x			x		x	x	
F6				x	x		x	
F7	x							
F8	x	x		x				
F9	x							
F10		x		x				
TOTAL	5	4	3	5	2	1	4	0

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

* Falta de estratégia corporativa e programa governamental para a área

**Burocracia para as pequenas empresas obter fomento para P&D

Os obstáculos apontados pelas empresas pesquisadas são bastante semelhantes aos principais problemas e obstáculos para inovar das indústrias analisadas pela PINTEC/2011. Segundo esses dados, as indústrias que inovaram entre 2009-2011 atribuíram grau médio ou alto de importância aos seguintes quesitos: os altos custos para inovar com 81,7% das menções, 72,5% para a falta de recursos humanos qualificados e 71,3% aos riscos econômicos excessivos para inovar (IBGE, 2013). Segundo os dados da tabela 5 para as **empresas incorporadoras** de nanotecnologia os altos custos de P&D foram assinalados como principal obstáculo à expansão das atividades. No entanto, a falta de pessoal qualificado e as vantagens menores que as esperadas também são fatores importantes assinalados por essas empresas. As incorporadoras salientam que a falta de laboratórios nacionais se constitui como um obstáculo, mas, não investigamos se o motivo do obstáculo diz respeito à falta de equipamentos ou ao acesso dessas empresas aos laboratórios existentes, uma vez que o Brasil possui laboratórios nacionais de nanotecnologia.

Semelhante às incorporadoras, as empresas fornecedoras indicam os altos custos de P&D como obstáculo, mas para essas, a questão falta de mercado consumidor se configura como uma dificuldade particular para a expansão. Ressaltando a característica de baixa inovação da nossa indústria podemos deduzir que parte da falta de mercado para essas empresas poderia se relacionar com a demanda das empresas incorporadoras em buscar soluções/insumos nanotecnológicos para seus negócios. Esta hipótese pode corroborar o modesto dinamismo identificado pelas pesquisas de Sondagem de Inovação da ABDI e a PINTEC, mencionadas no capítulo 2, na adoção de nanotecnologia pelo conjunto da indústria brasileira. Foram assinaladas ainda como obstáculos para a expansão das atividades das fornecedoras, a lucratividade e as incertezas sobre a regulamentação da nanotecnologia.

Questionadas sobre em que fase da produção se encontrava o produto ou insumo baseado em nanotecnologia – P&D, pré-comercial e/ou sendo comercializada – a maior parte do conjunto das empresas indicou a fase de P&D. Em segundo lugar, apareceram os produtos em fase pré-comercial para as

fornecedoras de insumo/solução nanotecnologia e os em comercialização para as incorporadoras, conforme podemos observar na tabela 6.

TABELA 6 - FASE DA PRODUÇÃO EM QUE SE ENCONTRAM OS PRODUTOS/INSUMOS/SOLUÇÃO NANOTECNOLOGIA DAS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS DE NANOTECNOLOGIA*.

EMPRESAS	FASE DA PRODUÇÃO		
	P&D	PRÉ-COMERCIAL	COMERCIALIZAÇÃO
I1	x	x	x
I2	x		
I3	NR**		
I4	x		
I5	NR		
I6	x		
I7	x		
I8	NR		
I9	x		
I10			x
I11	x	x	x
I12			x
TOTAL	7	2	4
F1	x		
F2	x		x
F3	x		
F4		x	
F5	x		x
F6			x
F7	x	x	
F8	x	x	x
F9	x	x	
F10	x	x	
TOTAL	8	5	4

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

*As empresas tiveram a opção de marcar mais de uma alternativa já que muitas delas desenvolvem mais de um produto.

**NR: não respondido pela empresa

Os dados acima sinalizam que embora a nanotecnologia esteja, em grande medida, centrada na fase de P&D das empresas, ela estaria avançando para as fases de manufatura e comercialização, o que coloca um cenário de transição em termos de demanda de força de trabalho, como analisaremos na sequência do texto. Esses achados estão em conformidade com que indica o levantamento da (ABDI, 2013) e também mostram que as empresas brasileiras se encaixam numa tendência similar à de outros países, conforme verificado na revisão de literatura

(HENN 2004, apud STOA, 2007; ABICHT *et al.*, 2006; SING, 2007; SEMPTA, 2009; GODBE RESEARCH, 2006). Ambos os tipos de empresas não detalharam quais as características dos produtos que estão desenvolvendo. Um dos motivos que poderia levantado para explicar a negativa das empresas em informar as características dos produtos é a questão do sigilo industrial, considerado importante para o sucesso do negócio e manutenção da competitividade. Outro motivo foi apontado durante o *Workshop Nanotecnologias de 2011*: a incerteza quanto à regulamentação dos produtos e processos de base nanotecnológica. Uma vez que não existem protocolos que indiquem parâmetros seguros de manipulação e consumo de materiais em nanoescala, os produtos poderiam enfrentar resistência e suspeitas sobre o uso seguro por parte do mercado consumidor.

Em síntese, as empresas pesquisadas estão distribuídas em atividades produtivas variadas e de diferentes portes. Indicam que pretendem expandir suas atividades relacionadas à nanotecnologia, mas que enfrentam como principais obstáculos o alto custo de P&D e a falta de regulamentação. Ainda que alguns produtos estejam disponíveis para o consumo final, a maior representatividade foi das atividades de P&D tanto nas empresas fornecedoras quanto nas incorporadoras de nanotecnologia. O arranjo da força de trabalho para atender a atual entrada da nanotecnologia no setor produtivo das empresas é analisado na sessão seguinte deste capítulo.

5.2 OS ATUAIS ARRANJOS DE COMPETÊNCIAS E A QUALIFICAÇÃO REQUERIDA NAS EMPRESAS COM ATIVIDADE EM NANOTECNOLOGIA

No perfil mais amplo pudemos observar que as empresas ao mesmo tempo em que indicam que enfrentam dificuldades com a falta de pessoal qualificado, sinalizam que a atual mão-de-obra empregada não enfrentou dificuldades para se adaptar aos processos produtivos que incorporaram a nanotecnologia. Parte dessa contradição pode ser explicada pela fase de transição em que se encontra a demanda de força de trabalho, progredindo dos setores de P&D em direção à comercialização. Ainda, os dados apontam que os trabalhadores da fabricação

que atuam diretamente em atividades que envolvem a nanotecnologia possuem níveis de escolaridade maiores que a média de escolaridade do trabalhador formal da indústria nacional. Tal indício pode sinalizar que se trata de uma fase de desenvolvimento em que a incorporação da nanotecnologia tem sido feita de forma simples pelas empresas e/ou que a força de trabalho em certa medida foi preparada para trabalhar com tais atividades.

Um bloco dos questionários foi dedicado ao levantamento de dados sobre o perfil dos trabalhadores das empresas que atuam com as atividades de nanotecnologia. Os representantes das empresas indicaram qual o perfil atual dos empregados, as demandas de qualificação para atuar nas atividades que envolvem a nanotecnologia e as expectativas em relação à formação desses trabalhadores. A partir desses dados observamos a forma como estão sendo mobilizados os trabalhadores para a P&D, fabricação e comercialização de produtos que utilizam a nanotecnologia. Nas tabelas 7 e 8 é possível observar os dados compilados referentes aos trabalhadores atualmente empregados nas empresas, em relação às atividades que desenvolvem e ao nível de escolaridade.

TABELA 7 – NÍVEL DE ESCOLARIDADE DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS INCORPORADORAS, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE RELACIONADA À NANOTECNOLOGIA NAS EMPRESAS*

ÁREA	EMPRESAS COM TRABALHADORES ATUANDO EM NANOTECNOLOGIA EM CADA NÍVEL DE ESCOLARIDADE				
	Ensino Médio	Técnico	Graduação	Mestrado	Doutorado
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO		(16)	(12) (13) (19) (111)	(11) (14) (19)	(11) (12) (14) (15) (16) (17) (110) (112)
PROCESSO DE FABRICAÇÃO		(16)	(11) (12) (111)		(15) (17)
COMERCIALIZAÇÃO E OUTRAS ATIVIDADES	(11) (110)	(110)	(12) (16) (111)	(15)	(112)
TOTAL DE EMPRESAS QUE OCUPAM TRABALHADORES EM CADA NÍVEL DE ESCOLARIDADE	2	2	6	4	8

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

* Algumas empresas não apontaram o número de funcionários que empregam em cada fase, nem detalharem o nível de escolaridade de cada um, como foi solicitado, por isso optamos por expor na tabela a informação tal como foi dada pela maioria das empresas: indicação do nível de escolaridade dos trabalhadores em cada fase do processo. Assim, situamos a identificação de cada empresa nas células correspondentes. (I8) Empresa sem informação

TABELA 8 – NÍVEL DE ESCOLARIDADE DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE RELACIONADA À NANOTECNOLOGIA NAS EMPRESAS*

ÁREA	EMPRESAS COM TRABALHADORES ATUANDO EM NANOTECNOLOGIA EM CADA NÍVEL DE ESCOLARIDADE				
	Ensino Médio	Técnico	Graduação	Mestrado	Doutorado
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO	(F5)	(F5) (F7) (F9) (F10)	(F1) (F2) (F5) (F6) (F7) (F9)	(F2) (F5) (F7) (F9) (F10)	(F1) (F3) (F4) (F5) (F6) (F7) (F8) (F9) (F10)
PROCESSO DE FABRICAÇÃO	(F5) (F6)	(F4) (F7)	(F4) (F6) (F7)	(F2) (F6)	(F8)
COMERCIALIZAÇÃO E OUTRAS ATIVIDADES			(F2) (F4) (F5)	(F5) (F6)	(F8)
TOTAL DE EMPRESAS QUE OCUPAM TRABALHADORES EM CADA NÍVEL DE ESCOLARIDADE	2	5	7	6	9

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

* Algumas empresas não apontaram o número de funcionários que empregam em cada fase, nem detalharem o nível de escolaridade de cada um, como foi solicitado, por isso optamos por expor na tabela a informação tal como foi dada pela maioria das empresas: indicação do nível de escolaridade dos trabalhadores em cada fase do processo. Assim, situamos a identificação de cada empresa nas células correspondentes.

Segundo as empresas os trabalhadores atualmente empregados que desenvolvem atividades com nanotecnologia estão concentrados nas atividades de P&D. Observamos que em ambos os tipos de empresa há um predomínio de trabalhadores pós-graduados - mestres e doutores, nessa fase da produção. O perfil de trabalhadores nos dois tipos de empresas é semelhante, ainda que os trabalhadores de nível médio e técnico tenham maior representatividade nas atividades das empresas fornecedoras. Comparados aos dados das empresas

inovadoras da PINTEC/2011 o perfil dos trabalhadores alocados nas atividades de P&D das empresas com atividades em nanotecnologia pesquisadas para essa tese é superior àqueles das indústrias inovam. Nas indústrias identificadas pela PINTEC há predominância de graduados nas atividades de P&D com 58,9% do total dos trabalhadores destinados a tal atividade, sendo que somente 8% da força de trabalho que compõe o setor de P&D são de pós-graduados.

No processo de produção, seis empresas incorporadoras declararam possuir trabalhadores com atividades em nanotecnologia. Dessas, duas declararam possuir funcionários com nível de doutorado, três com nível de graduação e uma, com nível técnico. Trata-se de um perfil de alto nível de escolaridade nas empresas incorporadoras na fase de produção. Já para as fornecedoras o perfil de escolaridade nessa fase estaria mais bem distribuído entre os diferentes níveis de escolaridade, quando comparado ao perfil das empresas incorporadoras. Encontramos em quatro das dez fornecedoras a presença de trabalhadores de escolaridade de nível médio ou técnico, do nível de graduação em três fornecedoras e com nível de mestrado e doutorado em outras três. Novamente neste caso, as empresas não forneceram informação sobre quantos trabalhadores da produção estão envolvidos com nanotecnologia em relação à força de trabalho total nesse setor. Em investigações posteriores será necessário avaliar se esta tendência se aplica de forma geral as empresas, uma vez que o grau de complexidade da inovação de produto deve ser uma questão decisiva neste sentido. A questão a ser verificada é qual proporção de força de trabalho de alto nível de escolaridade é requerida pelas empresas, nas diferentes fases do processo produtivo.

Na fase de comercialização e outras atividades o nível de escolaridade das empresas incorporadoras e fornecedoras se concentra na formação de nível superior, com indicação de 10 empresas do emprego de trabalhadores com graduação e pós-graduação. Duas empresas incorporadoras utilizam trabalhadores de nível médio e técnico para essas atividades, fato que não se verifica nas empresas fornecedoras, que utilizam exclusivamente trabalhadores de nível superior de escolaridade para essas atividades. A maior escolaridade dos trabalhadores envolvidos na comercialização dos insumos/soluções nanotecnológicas pode ser explicada em parte, pela necessidade de

conhecimentos mais complexos sobre as características desses produtos para negociar com outras empresas. Outra informação que complementa a compreensão dessa alta escolaridade pode ser observada nas atividades do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia: muitas das empresas fornecedoras vinham diretamente dos centros de incubação tecnológica das universidades e tinham como trabalhadores os próprios empreendedores do negócio que realizam a maior parte das atividades das empresas fornecedoras. Ou seja, em muitas empresas fornecedoras as atividades de comercialização são realizadas pelos pesquisadores das empresas, que são os donos do negócio.

Aos sete questionários coletados entre 2012 e 2013 foram incluídas questões relativas às atividades de manufatura da empresa. A introdução da nanotecnologia na área de manufatura implicou mudanças para as empresas pesquisadas – tanto incorporadoras quanto fornecedoras – em relação ao *processo de fabricação* e as *tecnologias utilizadas*. Segundo a maior parte dos representantes das empresas, os trabalhadores que atuam na área da manufatura não enfrentaram dificuldades em relação à introdução da nanotecnologia nos processos produtivos. Das sete empresas, somente duas empresas incorporadoras indicaram que seus funcionários tiveram dificuldades: entender o conceito do que é nanotecnologia e adequar-se ao processo produtivo. Outras questões tratam de dificuldades mais gerais da produção, não necessariamente ligadas a nanotecnologia, tais como: comportamentais e das atividades de manutenção. Esses entrevistados relataram que os trabalhadores atualmente empregados na manufatura possuem uma escolaridade média que seria suficiente para desenvolver processos produtivos que incorporam a nanotecnologia. No entanto, somente três empresas – duas incorporadoras e uma fornecedora - indicaram qual é esse nível de escolaridade dos trabalhadores da manufatura: o Ensino Médio.

Ao que parece, as empresas estão combinando trabalhadores de nível de ensino médio e de graduação para essas atividades. A qualificação formal possível de ser identificada é compatível com processos produtivos complexos e muito acima do nível de escolaridade média do trabalhador formal da indústria, que é o Ensino Médio Incompleto (CNI, 2013). Talvez por esse motivo, a maior parte das empresas não reportaram dificuldades com a introdução da tecnologia,

uma vez que metade delas possuía, no momento da coleta do questionário, trabalhadores com nível de escolaridade de nível superior atuando em atividades de fabricação de seus produtos de base nanotecnológica. As preocupações com a formação para a nanotecnologia concentradas principalmente no nível superior (BATTERSON *et. al*, 2003; ROCO, 2003; FONASH, 2001; WHITESIDES, 2003), encontram consonância com as competências mobilizadas pelas empresas que utilizam a nanotecnologia em seus processos. Contudo, os dados coletados indicam que trabalhadores de nível de escolaridade média e técnica estão sendo mobilizados em todas as áreas de atividades em nanotecnologia, nos dois tipos de empresas.

As tabelas 9 e 10 mostram as áreas do conhecimento mobilizadas pelas empresas incorporadoras e fornecedoras para os setores de P&D, fabricação e comercialização dos produtos com base em nanotecnologia.

TABELA 9 – ÁREAS DE FORMAÇÃO DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS INCORPORADORAS, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE *

ÁREA	EMPRESAS COM TRABALHADORES ATUANDO EM NANOTECNOLOGIA SEGUNDO ÁREA DE FORMAÇÃO					
	Química	Física	Engenharia	Biologia	Farmácia	Outras
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO	(I1) (I2) (I3) (I4) (I5) (I6) (I7) (I9) (I10) (I11)	(I1) (I4)	(I4) (I5) (I9) (I11) (I12)	(I1) (I4)	(I2) (I3) (I7)	(I12)
PROCESSO DE FABRICAÇÃO	(I1) (I2) (I5) (I6) (I7) (I11)		(I1) (I5) (I11)		(I2) (I7)	
COMERCIALIZAÇÃO E OUTRAS ATIVIDADES	(I6) (I10)		(I6) (I12)		(I2)	(I11)** (I12)***
TOTAL DE EMPRESAS COM TRABALHADORES EM CADA ÁREA DE FORMAÇÃO						

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

*Os dados das células correspondem à identificação das empresas que possuem trabalhadores em cada área de formação.

**Administração

***Mecatrônica

(I8) Indicou que possui trabalhadores com formação em Engenharia, mas não relacionou à área da produção.

TABELA 10 – ÁREAS DE FORMAÇÃO DOS TRABALHADORES DAS EMPRESAS FORNECEDORAS, SEGUNDO O SETOR DE ATIVIDADE RELACIONADA À NANOTECNOLOGIA NAS EMPRESAS*

ÁREA	EMPRESAS COM TRABALHADORES ATUANDO EM NANOTECNOLOGIA SEGUNDO ÁREA DE FORMAÇÃO					
	Química	Física	Engenharia	Biologia	Farmácia	Outras
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO	(F1)(F7) (F8)(F9) (F10)	(F10)	(F1)(F2) (F3)(F5) (F9)(F10)	(F4)	(F6)(F7)	(F5)***
PROCESSO DE FABRICAÇÃO	(F4)(F7) (F8)		(F2)(F5)		(F6)	
COMERCIALIZAÇÃO E OUTRAS ATIVIDADES	(F8)		(F2)(F5)		(F6)	(F4)**
TOTAL DE EMPRESAS COM TRABALHADORES EM CADA ÁREA DE FORMAÇÃO						

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

*Os dados referem-se à quantidade de vezes que cada quesito foi mencionado pelas empresas, não indicam, portanto, a quantidade de trabalhadores empregados em cada atividade.

**Administração

***Medicina e Biomedicina

Duas áreas de formação se destacaram na totalidade de empresas pesquisadas: a Química e as Engenharias. Nas empresas incorporadoras há o predomínio dos químicos, principalmente, nas atividades de P&D e fabricação, seguidos dos engenheiros na mesma atividade. Nessa pesquisa, os trabalhadores com qualificação técnica em Farmácia configuram como a área de formação, relativa ao setor produtivo da empresa, com maior representatividade nas

empresas consultadas. Já para as fornecedoras, há um leve predomínio dos engenheiros em relação aos químicos, o que pode ser atribuído ao fato que essas empresas desenvolvem materiais, dispositivos, ou serviços tecnológicos que devem ser adaptados a processos e produtos diversos. Contudo, o perfil de ambos as empresas é bastante semelhante, ainda que se trate de diferentes setores produtivos.

Em termos de experiência profissional a coleta de dados apontou que em sua maioria tiveram como principal experiência anterior, o treinamento adquirido na academia (universidade) e centros de pesquisa, conforme é possível observar na tabela 11.

TABELA 11 – EXPERIÊNCIA PRÉVIA DOS TRABALHADORES ENVOLVIDOS COM ATIVIDADES DE NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO AS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA

EMPRESAS	EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL PRÉVIA				
	Nenhuma	Academia/centros de pesquisa	Própria empresa	Outras empresas nacionais	Outras empresas internacionais
Incorporadoras	(I1)(I2) (I6)(I10) (I11)	(I3)(I4) (I5) (I6) (I7) (I9) (I11)(I12)	(I7) (I8)	(I2) (I3) (I11)	(I5) (I12)
Fornecedoras	(F2) (F4)	(F1) (F2) (F3) (F6) (F7) (F8) (F9) (F10)	(F1) (F7)	(F5)	

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

No conjunto, as empresas têm recrutado os trabalhadores para atuar em suas atividades de nanotecnologia nas universidades e centros de pesquisa, o que não apenas indica que se trata de uma área que requer uma qualificação de alto nível de escolaridade desenvolvida principalmente em núcleos de pesquisa, como também, exemplifica uma área tecnológica emergente na qual as empresas não acumularam experiência previa. Complementar a qualificação técnica uma série de competências para trabalhar com em atividades nanotecnológicas, segundo as empresas. As principais competências são: capacidade de transitar

bem em várias áreas do conhecimento, formação multidisciplinar, capacidade de trabalhar em equipe, pós-graduação em uma área científica específica e pós-graduação em nanotecnologia, e podem ser visualizadas na tabela 12.

TABELA 12 – COMPETÊNCIAS VALORIZADAS PARA TRABALHAR COM NANOTECNOLOGIA, SEGUNDO AS EMPRESAS INCORPORADORAS E FORNECEDORAS DE INSUMO/SOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA

EMPRESA	COMPETÊNCIAS						
	Graduação em ciências ou engenharia	Graduação com ênfase em nanotecnologia	Pós-graduação em ciências ou engenharia	Pós-graduação com ênfase em nanotecnologia	Formação multidisciplinar	Capacidade de transitar em outras áreas do conhecimento	Capacidade de trabalhar em equipe
Incorporadora	(I9)(I10)	(I9)	(I4) (I7) (I8) (I9) (I12)	(I2) (I3) (I6) (I9) (I10) (I11) (I12)	(I1) (I2) (I3) (I4) (I5) (I6) (I7) (I9) (I11) (I12)	(I1) (I2) (I3) (I4) (I7) (I9) (I10) (I11) (I12)	(I1) (I2) (I4) (I7) (I9) (I10) (I11) (I12)
TOTAL	2	1	5	7	10	9	7
Fornecedora	(F2) (F3)(F4) (F5) (F6)	(F2) (F4) (F5) (F6)	(F1) (F2) (F4) (F5) (F6) (F7) (F8) (F9)	(F2) (F4) (F5) (F6) (F7) (F8)	(F2) (F4) (F5) (F6) (F7) (F9) (F10)	(F2) (F3) (F4) (F5) (F6) (F9) (F10)	(F1) (F2) (F4) (F5) (F6) (F7) (F8) (F9) (F10)
TOTAL	5	4	8	6	7	7	9

Fonte: Elaborado pela autora com base nos questionários

Esse conjunto de competências enfatiza qualificação técnica, especialmente no que diz respeito à formação com orientação multidisciplinar de nível superior, destacada por 10 das 12 incorporadoras e 7 das 10 fornecedoras. As empresas também valorizam as competências que são formadas ao longo da experiência profissional, como a capacidade de trânsito

entre áreas do conhecimento para o trabalho em equipes, destacada por 9 das 12 incorporadoras e 7 das 10 fornecedoras. Fator semelhante foi identificado na literatura sobre o tema, as denominadas *soft skills* mencionadas no capítulo 2 desta tese (ABITCH *et al.*, 2006; OCDE 2010). Isto é, as competências assinaladas denotam o caráter da sinergia de áreas científicas para desenvolver produtos com base nas propriedades da matéria na nanoescala.

Além da diversidade de áreas atuando em conjunto, a capacidade de comunicação entre os trabalhadores e a organização do trabalho em equipe indica que a qualificação para trabalhar com atividades em nanotecnologia é composta pela diversificação de especialistas que atuem em conjunto na construção de aplicações nanotecnológicas para uma atividade produtiva. Esse aspecto foi reafirmado pelos entrevistados quando da indagação sobre qual seria a combinação ideal para compor uma equipe de trabalho para a área da nanotecnologia em suas empresas. Os representantes das empresas assinalam que além da formação em uma área do conhecimento – Física, Química, Biologia, Engenharia – uma equipe de qualidade ainda seria composta por um especialista na área de atuação da empresa.

Os profissionais que detêm a experiência específica do processo produtivo da empresa, também estão requeridos a ampliar sua capacidade de inter-relação com outras áreas do conhecimento. Por exemplo, empresas que desenvolvem medicamentos, cosméticos e kits de diagnóstico demandam profissionais da Medicina e da Farmácia para realizar a interface da nanotecnologia com a destinação final do produto; as empresas com atividades em Petróleo e Gás necessitariam de especialistas na área para a equipe que venha a trabalhar com nanotecnologia aplicada ao setor. Além disso, alguns conteúdos específicos foram citados como relevantes para as atividades desenvolvidas pelas empresas, tais como: processos de fabricação, síntese e caracterização de materiais nanoestruturados, microscopia e toxicologia dos materiais. No caso dessa pesquisa empírica, os profissionais formados em Farmácia são os mais lembrados pelas empresas enquanto profissionais que fazem a relação da atividade da empresa com as aplicações da nanotecnologia, conforme mencionado anteriormente.

Das empresas pesquisadas entre 2012 e 2013, três fornecedoras de soluções nanotecnológicas indicaram que realizaram parcerias com universidades e centros de pesquisa em busca de trabalhadores qualificados para atuar em nanotecnologia. Foram citadas duas universidades e o SENAI, além do patrocínio de projetos feito pelo CNPq. Não foram citadas parcerias para o recrutamento ou qualificação para os trabalhadores de nível médio e técnico no conjunto das empresas pesquisadas. Um índice bastante baixo, congruente com a importância atribuída pelas empresas que inovam as suas parcerias com as universidades, conforme mencionado anteriormente.

Em suma, as empresas procuram atender ao caráter interdisciplinar da nanotecnologia compondo equipes de trabalho multidisciplinares com foco no setor produtivo específico. Os trabalhadores devem possuir conhecimentos sólidos em uma área científica, mas atuando em uma perspectiva multidisciplinar, que teria por finalidade facilitar o diálogo com outras áreas do conhecimento, de forma a serem capazes de fazer a conexão com as possíveis aplicações que a nanotecnologia em diferentes atividades produtivas. A necessidade de conhecimento sobre as propriedades da nanotecnologia e a visão sistêmica para facilitar a interação entre as áreas do conhecimento são elementos fundamentais para atuação em processos que envolvem a nanotecnologia nessas empresas. Além disso, dialogar com outros campos científicos parece ser característica importante para a composição de equipes de trabalho que desenvolvem produtos e processos calcados na escala nanométrica. Para viabilizar tais interações, as competências que agregam atributos pessoais e trajetórias de qualificação técnica, como capacidade de transitar bem em várias áreas do conhecimento e capacidade de trabalhar em equipe, complementam o quadro da qualificação para os profissionais da área.

Observamos que pelo lado da demanda, as empresas destacam algumas características do perfil da força de trabalho particulares a este momento histórico de desenvolvimento da capacidade produtiva da nanotecnologia: formação de nível superior, principalmente em Química e Engenharia, articulada ao setor produtivo de cada empresa. São trabalhadores destinados principalmente às atividades de P&D em caráter de projeto multidisciplinar. Pelo lado da demanda a qualificação requerida transita das atividades de P&D para a comercialização.

Na seção seguinte, analisamos como se organizam algumas iniciativas de oferta de qualificação dessa força de trabalho. Alguns cursos de graduação começaram a oferta de programas de nível superior para a nanotecnologia a partir de 2009. Analisaremos a seguir a forma como esses cursos estão organizados, suas propostas curriculares e as expectativas para o mercado de trabalho para os formandos.

5.3 A OFERTA EDUCACIONAL: OS CURSOS DE GRADUAÇÃO COM ÊNFASE EM NANOTECNOLOGIA

A oferta educacional na área de nanotecnologia se localiza principalmente no nível superior. Durante a observação participante no GT-RH do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia pudemos constatar que a oferta de cursos para o nível técnico e formação continuada são iniciativas pontuais, muitas vezes por demanda das empresas, sem se caracterizar como uma oferta permanente de cursos. A situação é diferente no nível da graduação, nível em que foram criados três cursos que constituem o foco principal de nossa análise.

Os dados referentes aos cursos de graduação foram coletados por meio de questionários coletados por e-mail com os coordenadores e vice-coordenadores dos cursos dos três cursos atualmente existentes no Brasil. O levantamento foi realizado durante o ano de 2011 e início de 2012. O objetivo foi conhecer a oferta educacional de nível superior disponível no país e as características da formação proposta nesses cursos. Nossa intenção era comparar os perfis de qualificação atualmente utilizados pelas empresas e o perfil proporcionado pela formação universitária.

No Brasil são três os cursos de graduação destinados a formar graduados para atuar na área de nanotecnologia. O curso de Bacharelado em Nanotecnologia, ofertado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); o Bacharelado em Física: Materiais e Nanotecnologia, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e; o curso de Engenharia em Nanotecnologia, ofertado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). Os cursos foram implantados em 2009, 2010 e 2011, respectivamente.

O processo de planejamento dos cursos se deu de maneira diferenciada nas três universidades. No curso de Bacharelado em Nanotecnologia da UFRJ os professores de diferentes áreas do conhecimento – Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biofísica, Escola de Química e Escola Politécnica – se reuniram no ano de 2007 para discutir a implantação de um curso que fornecesse aos alunos uma formação multidisciplinar, segundo a coordenadora. Junto a isto, a criação do curso vinculou-se a um convênio firmado entre a UFRJ e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O objetivo do convênio era a criação de um novo *campus da UFRJ* nas proximidades do centro de pesquisas do INMETRO.

Em 2008 iniciaram-se as discussões para a oferta do curso de Bacharelado em Física na UFRGS. A oportunidade para criação do curso foi o *Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais* (REUNI). A UFRGS já possuía o curso de Bacharelado em Física que ofertava anualmente 100 vagas. Com o REUNI, as quantidade de vagas foi redistribuída. O curso passou a ofertar 80 vagas, em quatro ênfases do próprio curso de Física: Astrofísica, Física Computacional, Pesquisa Básica, e Materiais e Nanotecnologia, além de 30 vagas para o novo curso de Engenharia Física. O novo curso visou, segundo a coordenadora, atrair uma parcela diferenciada de futuros estudantes do curso de Física, motivados por temas como nanotecnologia e astrofísica.

Na PUC-RJ o coordenador indicou o ano de 2003 como o início das atividades de planejamento de um curso, tendo como indicador as perspectivas de desenvolvimento da nanotecnologia associado às competências internas da própria PUC. Associado a esses fatores, o coordenador destacou que seria inviável pensar no desenvolvimento da nanotecnologia sem a participação de engenheiros. Dessa forma, o curso tem por objetivo ofertar um novo campo de atuação para a Engenharia: Engenharia em Nanotecnologia. Recordando a implantação do curso, que ocorreu em 2011, o coordenador da PUC-RJ salientou que o curso enfrentou o ceticismo entre colegas sobre a existência de interessados no curso, a rejeição por atores acadêmicos mais conservadores e argumentos de que o curso geraria um acréscimo de custos para a universidade.

A criação de cada curso, além de responder a razões diferenciadas, também evidencia pontos de partida diferentes quanto à formação em

nanotecnologia. Enquanto na UFRJ a motivação foi criar um curso que garantisse a formação multidisciplinar unindo conhecimentos de diversos campos científicos para formar em nanotecnologia, na PUC-RJ a intenção principal foi ampliar a atuação dos engenheiros em uma nova área da tecnologia. Na UFRGS a criação de um curso com habilitação em *materiais e nanotecnologia* partiu da concepção de formar alunos com base nos conhecimentos da Física e ao mesmo tempo oferecer uma especialização em nanotecnologia.

Essas concepções diferentes se materializam em organizações curriculares específicas. No curso de Bacharelado em Nanotecnologia da UFRJ o currículo está organizado em torno do aporte de conhecimento das grandes áreas das ciências físico-naturais para entender a escala nano. A interdisciplinaridade ampla, desde a base da formação, seria o componente norteador da organização curricular. Como explicou a coordenadora da UFRJ, a finalidade do curso é uma formação com base em Física, Matemática, Química e Biologia percorrendo transversalmente os conhecimentos específicos da área de nanotecnologia, prosseguidos de três ênfases no ciclo profissional: Física, Materiais e Bionanotecnologia. O currículo está organizado em um núcleo comum, chamado núcleo básico. O núcleo básico é composto pelas disciplinas de Matemática, Física, Química e Biologia. A duração desse núcleo é de aproximadamente de dois anos, durante os quais os alunos cursam disciplinas em cursos já existentes de Física, Engenharia de Materiais e Biofísica, com intenção de facilitar o trânsito dos estudantes destes cursos e o curso de nanotecnologia. A disciplina de *Introdução à Nanotecnologia* é ofertada no 1º período do curso. O outro ciclo do curso é o profissional, em que ocorre o direcionamento para áreas diferenciadas na nanotecnologia. Cada tema do ciclo profissional possui seu próprio conjunto de disciplinas obrigatórias, associadas a disciplinas eletivas e disciplinas complementares de livre escolha. Essa especialização foi vista como meio para ofertar ao aluno oportunidades atrativas no mercado de trabalho e se desejar, ingressar na pesquisa de pós-graduação. A formação é complementada com a disciplina *Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia* (IPN). Essa disciplina é ofertada do 4º ao 8º período do curso em que o estudante realiza o estágio de iniciação científica em laboratórios ou grupos de pesquisa consorciados ao curso. Em cada semestre constituinte da IPN os alunos se organizam em grupos

diferentes e devem realizar o estágio em cada uma das áreas de Física, Química, Materiais e Bionanotecnologia. Os alunos passam então a ter acesso aos fundamentos teóricos e os aspectos práticos de técnicas diferenciadas. O percurso de formação começa por uma base científica interdisciplinar, articuladas por uma disciplina introdutória à nanotecnologia. Na sequência direciona-se para as áreas mais específicas da nanotecnologia, em nível teórico e de aplicação prática, conduzidas pela disciplina de pesquisa em nanotecnologia.

Na UFRGS, o foco são os temas da Física. O curso mantém a interlocução com outras áreas científicas, com foco nas propriedades dos materiais na escala nanométrica e nas técnicas analíticas para caracterização das propriedades nos materiais nessa escala. A coordenadora do curso sinalizou que um curso generalista em nanotecnologia não teria sentido uma vez que, em última análise, um cientista é especialista em uma área do conhecimento e assim também são aqueles que se dedicam a nanociência. O currículo do curso da UFRGS parte da estrutura do curso de Física, direcionando seu foco para as propriedades dos materiais em nanoescala. Assim como a UFRJ, o Bacharelado em Física com ênfase em Materiais e Nanotecnologia busca complementar a formação com disciplinas técnico-analíticas para caracterizar a baixa dimensionalidade dos sistemas na escala nanométrica. No 8º e 9º semestre do curso o aluno que optar pela habilitação em materiais e nanotecnologia poderá cursar a disciplina de *Fabricação e caracterização de nanoestruturas I e II*. Essa disciplinas têm como pré-requisitos as disciplinas de *Mecânica Quântica* e *Física de sistemas de baixa dimensionalidade*, respectivamente cursadas no 6º e 7º semestres. Não há obrigatoriedade de atividades práticas no trabalho de conclusão de curso, mas elas podem ser realizadas caso o aluno tenha interesse. A coordenadora do curso indica que no contexto do Rio Grande do Sul não há muitas possibilidades da realização dessas práticas, mas que o CEITEC S.A.⁷³ se coloca como um espaço importante ainda que não haja uma parceria estabelecida com a empresa. Na UFRGS parte-se de uma área consolidada da ciência, a física, para direcioná-la à nanotecnologia.

⁷³ Segundo o site institucional “a CEITEC S.A. é uma empresa pública federal ligada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), criada em 2008. O investimento feito na CEITEC S.A. de mais de meio bilhão de reais objetiva o desenvolvimento da indústria eletrônica brasileira através da implantação de uma base sólida no setor de semicondutores”.

Na PUC-RJ o curso não busca a especialização em uma área específica da nanotecnologia, segundo o coordenador, devido ao tempo de totalização dos créditos do curso. As disciplinas estão organizadas em um ciclo básico, semelhante às demais áreas da Engenharia. A primeira disciplina obrigatória diretamente relacionada à nanotecnologia - *Introdução à Nanotecnologia* – é ofertada no 4º período do curso. No 6º período o curso prevê a disciplina obrigatória de *Caracterização de Nanomateriais*, seguida no 7º período, pelas também obrigatórias *Laboratório de Caracterização de Nanomateriais* e *Síntese de Nanomateriais*. O ciclo básico da Engenharia é articulado ao conteúdo das áreas de Física, Química, Materiais, Biologia, Computação e Matemática, segundo o coordenador. O curso é concluído no nono período com o desenvolvimento de um projeto em Engenharia de Nanomateriais e com o estágio supervisionado. Assim o curso tem um perfil de formação em engenharia, com fundamentação em todas as áreas da ciência e de especialização, ao final do curso, em nanomateriais. A organização curricular sugere que a principal competência do formando é articulação de processos de produção com ênfase em nanomateriais.

No que tange a disponibilidade de disciplinas relacionadas com as possíveis implicações sociais, econômicas e éticas da nanotecnologia, somente o curso ofertado pela PUC-RJ contempla disciplinas sobre os temas. Mesmo assim são disciplinas com uma carga horária bastante reduzida quando comparadas as demais disciplinas. As disciplinas de *Implicações Sociais da Nanotecnologia* e *Implicações Ambientais da Nanotecnologia* são ofertadas nos 5º e 6º período do curso de Engenharia em Nanotecnologia da PUC-RJ. Os outros dois cursos analisados não possuem disciplinas com esse enfoque em seus currículos, ainda que sejam considerados assuntos relevantes pelas coordenadoras dos cursos. Explicitamente, pela nomenclatura de cada disciplina, não foi possível identificar disciplinas que tratem do tema da toxicologia e segurança no tratamento de nanomateriais⁷⁴. Mesmo as coordenadoras considerando a temática relevante para a formação, as duas universidades públicas não possuem disciplinas que

⁷⁴ A análise foi feita com base nos currículos disponíveis publicamente no site de cada curso de graduação e estão disponíveis no ANEXO IV desta tese.

contemplem algumas implicações da nanotecnologia para a sociedade, meio ambiente ou segurança.

Os coordenadores foram ainda questionados sobre a perspectiva de inserção dos graduados no mercado de trabalho e quais as tendências para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. Esse tema é explorado no próximo item deste capítulo, que indica a visão otimista dos coordenadores dos cursos sobre a inserção da nanotecnologia no setor produtivo e de pesquisa.

5.3.1 Expectativas sobre o mercado de trabalho para a nanotecnologia

As questões sobre o mercado de trabalho do formando em cada um dos cursos e as projeções sobre o desenvolvimento da nanotecnologia tiveram como objetivo identificar em que setores os profissionais formados nos cursos poderiam se inserir e quais atividades viriam a desempenhar. Para o coordenador do curso da PUC-RJ, o futuro engenheiro viria a ocupar postos de trabalho na indústria em geral com ênfase na indústria farmacêutica, energia e cosméticos, além do setor agropecuário. O coordenador do curso da PUC destaca que o mercado de trabalho é ainda reduzido para o futuro engenheiro, uma vez que o desenvolvimento nanotecnológico para indústria tem despertado pouco o interesse dos empresários. Avalia também que a pesquisa em nanotecnologia no Brasil é inferior à desenvolvida em países “do primeiro mundo”, mas que sua incorporação à indústria nacional tem gerado boas expectativas enquanto fator de *sobrevivência industrial*.

Para a coordenadora do Bacharelado em Nanotecnologia da UFRJ, o *niche* do mercado de trabalho esperado para os formandos são os centros de P&D de empresas inovadoras de todos os portes. Até aquele momento (2011-2012), assim como na PUC-RJ, não haviam turmas formadas para avaliar a entrada dos alunos no mercado de trabalho, mas segundo a coordenadora, o trabalho do curso da UFRJ é ampliar o campo de atuação do formando levando em consideração que a adoção da nanotecnologia pela indústria nacional é tomada como *inevitável*. As perspectivas de desenvolvimento da pesquisa em nanotecnologia incentiva os esforços para a visibilidade do curso. Segundo a

coordenadora, a produção de bens e serviços de base nanotecnológica está em fase de expansão internacional e o Brasil deve seguir a mesma tendência. Uma perspectiva semelhante é compartilhada pela coordenadora da UFRGS. Ela indica que a incorporação da nanotecnologia no setor industrial é uma tendência, mas que a indústria nacional não vem se desenvolvendo como nas universidades e centros de pesquisa nacionais. Apesar de existirem, segundo ela, exemplos significativos como da EMBRAPA, Petrobrás e Braskem. Seriam principalmente as empresas inovadoras os espaços a serem ocupados no mercado de trabalho pelos egressos do curso da UFRGS. Suas principais atividades seriam a pesquisa, o desenvolvimento e a caracterização de materiais.

Os coordenadores ainda foram questionados sobre quais seriam as competências a serem desenvolvidas pelos profissionais que desejam trabalhar na área de nanotecnologia. De forma coerente com os perfis dos cursos respectivos, para a coordenação da PUC-RJ e da UFRGS é importante para o futuro profissional desenvolva competências em um curso de graduação em área científica específica e na pós-graduação. Já a coordenadora do Bacharelado em Nanotecnologia indica que a formação deve se direcionar para a multidisciplinariedade conjugada com a capacidade de transitar em várias áreas do conhecimento. Os três concordam em que é fundamental desenvolver a capacidade de trabalhar em equipe para o a atuação do profissional na área nanotecnológica.

A oferta de cursos de graduação para a área de nanotecnologia tem sido estimulada pela perspectiva de que haverá um aumento da incorporação nanotecnologia em produtos e processos. Essa opinião é compartilhada tanto pela oferta educacional quanto pela demanda do mercado de trabalho – coordenadores e representantes de empresas. Outro ponto semelhante diz respeito às principais competências para aqueles que desejam trabalhar com nanotecnologia. Tanto o trabalho em equipe quanto a capacidade de transitar em várias áreas do conhecimento atende a demanda das empresas para o conjunto de competências para trabalhar com a nanotecnologia quanto faz parte do trabalho qualificado daqueles que pretendem inserir-se no mercado de trabalho. De um modo geral os três cursos aproveitam a expertise de suas universidades

para ofertar cursos de graduação direcionados para a nanotecnologia. Na UFRGS a pós-graduação em Ciências dos Materiais foi criada em 1992 tendo atualmente o mestrado com avaliação 5 no conceito da CAPES. A UFRJ conta com 20 Laboratórios e grupos de pesquisa em Nanociência e Nanotecnologia, em diferentes departamentos acadêmicos. No caso da PUC-RJ o Programa de pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos possui uma linha de pesquisa em materiais nanoestruturados/ caracterização na área de concentração de Ciências e Engenharia de Materiais e outra linha, a de materiais nanoestruturados/ síntese, na área de concentração da Engenharia de Processos e Meio Ambiente. O conceito da pós-graduação na PUC é seis na classificação da CAPES, tanto para o mestrado quanto para o doutorado.

A efetividade da oferta educacional para preencher as demandas do atual desenvolvimento da produção da nanotecnologia depende do tempo para avaliar-se se a proposta do curso tem demanda no mercado de trabalho. Não tivemos possibilidade de realizar nessa tese de avançar neste sentido, uma vez que a primeira turma da UFRJ tinha previsão de formatura para o final de 2013, e dos outros dois cursos ainda mais futuramente. Na próxima seção complementamos as perspectivas sobre a qualificação para atuar em nanotecnologia das empresas e dos cursos de graduação com as de pesquisadores relevantes na área, que por estarem liderando a pesquisa em nanotecnologia no Brasil, gerindo e formando grupos de novos pesquisadores e em contato frequente com projetos de empresas na área, dispõem de um conhecimento ponte entre o mundo da pesquisa e formação e o da produção.

Considerando a oferta educacional dos cursos de nível superior com ênfase em nanotecnologia observamos que as universidades brasileiras alinham-se a proposta de convergência de esforços entre diferentes áreas científicas e especialidades tecnológicas para resolver as problemáticas pela nanotecnologia (NFS, 2001; BAINBRIDGE & ROCO, 2006; CAVALHEIRO, 2007; CGEE, 2008). A interdisciplinaridade perpassa as propostas dos cursos, ainda que de maneira diferenciada entre uma oferta generalista e outras duas especializadas em Física e Engenharia. Abaixo na tabela 13 apontamos uma síntese das propostas dos

curros que refletem uma qualificação técnica diferenciada para cada trajetória curricular.

TABELA 13 – TRAJETÓRIA CURRICULAR DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO BRASILEIROS COM ÊNFASE EM NANOTECNOLOGIA E A QUALIFICAÇÃO TÉCNICA PARA A ÁREA

UNIVERSIDADE/ CURSO	CICLO BÁSICO	CICLO PROFISSIONAL	QUALIFICAÇÃO TÉCNICA PARA A NANOTECNOLOGIA
UFRGS Bacharelado em Física com ênfase em Materiais e Nanotecnologia	Ciclo básico do curso Física	Habilitação em Materiais e Nanotecnologia Fabricação e caracterização de nanoestruturas I e II	Físico com interlocução com as propriedades dos materiais na escala nanométrica e nas técnicas analíticas para caracterização
UFRJ Bacharelado em Nanotecnologia	Articulação de disciplinas ofertadas em outros cursos: Matemática, Física, Química e Biologia. Engenharia de Materiais e Biofísica A disciplina de <i>Introdução à Nanotecnologia</i> é ofertada no 1º período do curso	Direcionamento para <u>uma</u> das ênfases de interface com a nanotecnologia: Física, Engenharia de Materiais ou Bionanotecnologia. A formação é complementada com a Pesquisa em Nanotecnologia	Bacharel em Nanotecnologia com interlocução com as áreas de Física, Engenharia de Materiais ou Bionanotecnologia
PUC-RJ Engenharia em Nanotecnologia	Ciclo básico do curso de Engenharia que compreende disciplinas das áreas de Física, Química, Materiais, Biologia, Computação e Matemática.	Habilitação em Engenharia em Nanotecnologia Disciplinas: Introdução à Nanotecnologia no 4º período/ Caracterização de Nanomateriais no 6º período/ Laboratório de Caracterização de Nanomateriais e Síntese de Nanomateriais no 7º período. O curso é finalizado com um projeto de Engenharia em Nanotecnologia.	Engenheiro com interlocução com as propriedades dos materiais na escala nanométrica, habilitado para conceber e implementar instrumentos, maquinário, materiais, sistemas e processos que utilizem a nanotecnologia.

Fonte: Elaborado pela autora com base nas entrevistas

A base científica interdisciplinar é atendida pelos cursos pela articulação das disciplinas da matemática, física, química, engenharias, biológicas, tecnologias da computação articulada às técnicas de caracterização e fabricação de nanoestruturas. Com trajetórias diferenciadas, no curso da UFRJ o currículo parte dos aspectos gerais da nanotecnologia para então focar em áreas específicas da Física, Biotecnologia e Engenharia de Materiais, enquanto na UFRGS e na PUC-RJ os alunos acessam primeiramente o núcleo de conhecimentos da Física e da Engenharia, para então convergir para as disciplinas da nanotecnologia. Existe nos três cursos o pressuposto de trânsito em diversas áreas do conhecimento, ainda que, a característica disciplinar de cada área do conhecimento seja preservada na forma de oferta de disciplinas. Não se diluem os métodos de cada área para a construção de um novo objeto e uma nova epistemologia. A interdisciplinaridade nos cursos diz respeito à exploração das potencialidades de cada ciência pela associação de conhecimentos para resolver problemáticas relacionadas a um projeto ou problemática prática de nanotecnologia.

5.4 O PONTO DE VISTA DOS PESQUISADORES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL E AS NECESSIDADES EDUCACIONAIS PARA A ÁREA

Levando em consideração que o desenvolvimento de uma nova tecnologia tem um espaço decisivo nos laboratórios de pesquisa, pois ali se gestam ao mesmo tempo a tecnologia e os pesquisadores, buscamos nesse espaço agregar novos elementos para compreender qual é o perfil da qualificação necessária para atuar em nanotecnologia. Foram realizadas seis entrevistas com os pesquisadores em nanotecnologia, sendo três deles entrevistados pessoalmente e três via questionário eletrônico. O roteiro da entrevista teve dois blocos principais de indagações: (i) a percepção sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil; (ii) a percepção sobre as demandas de qualificação para os trabalhadores, a partir da experiência no laboratório.

Experientes na realização de pesquisas na área da nanotecnologia, na forma de pesquisa aplicada ou das implicações sociais, os pesquisadores entrevistados têm por perfil predominante a dedicação à atividade docente universitária, a pesquisa aplicada em nanotecnologia e representatividade no cenário nacional no que tange a temática. Na tabela 14 está indicada a formação de cada um dos entrevistados, bem como, a experiência profissional atual dos pesquisadores.

TABELA 14. PERFIL DOS PESQUISADORES ENTREVISTADOS, SEGUNDO NÍVEL EDUCACIONAL E ATUAÇÃO PROFISSIONAL ATUAL.

ENTREVISTADO	FORMAÇÃO	ATUAÇÃO PROFISSIONAL
Pesquisador 1	Químico Pós-Doutorado em Química Inorgânica	Professor Universitário Coordenador de Centro Inovação em Nanotecnologia Coordenador de Laboratório de Nanotecnologia
Pesquisador 2	Engenheiro da Computação Doutor em Nanotecnologia	Professor Universitário Coordenador de Centro Inovação em Nanotecnologia
Pesquisador 3	Químico Pós-Doutorado em Química e Biofísica	Professor Universitário Diretor de Laboratório Nacional de Nanotecnologia
Pesquisador 4	Físico Pós-Doutorado em Física	Professor Universitário Coordenador de Iniciativa Internacional em Nanotecnologia
Pesquisador 5	Químico Doutor em Química	Diretor de Instituto de Inovação
Pesquisador 6	Sem identificação	Diretor executivo de entidade não governamental para informação e formação de trabalhadores

Fonte: Elaborado pela autora com base nas entrevistas

5.4.1 A nanotecnologia no Brasil: opinam os especialistas

O primeiro bloco das questões aos pesquisadores foi dedicado ao desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, sendo a categoria analisada a *inovação tecnológica industrial*. Considerando como pressuposto que a nanotecnologia representa uma inovação tecnológica, no sentido de investimento realizado pelo capital com a intenção de manter os lucros e a competitividade por meio de novidades em seus produtos, a lacuna é saber o potencial da nanotecnologia para a indústria. Com relação ao potencial revolucionário da nanotecnologia, os pesquisadores apresentaram dois pontos de vista no que tange a nanotecnologia. Para o estudo da matéria – o campo científico – a nanotecnologia não é uma novidade. Os cientistas já tinham conhecimento de que na dimensão nanométrica algumas propriedades dos materiais poderiam apresentar características diferentes daquelas observadas em outras escalas. O fato crucial nas últimas décadas, segundo os pesquisadores entrevistados, é expectativa criada em torno da nanotecnologia e outras tecnologias convergentes pelo impulso dado através de políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação. Uma das opiniões dos pesquisadores entrevistados sintetiza as demais:

Do ponto de vista tecnológico eu acho que sim (caráter revolucionário). Do ponto de vista científico essencialmente já existia. O que se fez foi investigar sistemas menores, consequências de dimensionalidade, enfim, era um conhecimento que, em física estava disponível, porém, talvez não *recebia* a devida atenção. Entretanto, um grande feito em termos de nano decorre de uma propaganda enorme que atingiu as pessoas e que as fez acreditarem na nanotecnologia e isso levasse realmente numa tentativa de modificação de processos, e de padrões tecnológicos. Então, na tecnologia representa uma tentativa de ruptura novamente [sic] (Pesquisador 4).

Compartilhamos com Braga e Martins (2006) a perspectiva de que parte dessa publicidade diz respeito à expectativa criada na possibilidade da nanotecnologia auxiliar na cura de doenças, principalmente as de difícil tratamento e/ou com dificuldade de diagnóstico, na menor utilização dos recursos naturais disponíveis, na renovação de fontes energéticas, etc. Do ponto de vista da inovação a nanotecnologia teria capacidade de incrementar, junto a outras tecnologias, a produtividade e o crescimento econômico via diferenciação de

produtos. Se para a ciência a escala nanométrica e as propriedades da matéria não representam necessariamente uma novidade, para a aplicação industrial a nanotecnologia representa uma inovação, segundo os pesquisadores. Inovação essa em dupla dimensão: inovação em produtos existentes que podem beneficiar-se da nanotecnologia para se tornarem mais eficientes e eficazes em sua destinação final; e por outro lado, produtos que ao explorarem as propriedades da nanoescala se colocam como novidade em termos de novas funcionalidades que fornecem ao consumidor. Essas inovações podem alterar a estrutura de produção hoje existente, como explica o Pesquisador 6:

Um exemplo são as aplicações no campo da agricultura nos quais a utilização de nano sensores, substâncias químicas nano encapsuladas e outras podem tornar mais eficiente a agricultura de precisão; ao passo que, a manufatura molecular de alimentos e fibras pode em certo prazo, desestruturar completamente as cadeias produtivas desse setor tornando dispensáveis a montante os setores de produção de sementes e mudas, fertilizantes, agrotóxicos, vacinas, medicamentos, e demais insumos agrícola tradicionais, inclusive a mão-de-obra ou trabalho humano. E a jusante, todas as indústrias processadoras de alimentos e fibras além de praticamente extinguir o comércio internacional de *commodities*⁷⁵ agrícolas (Pesquisador 6).

Em termos de inovação tecnológica industrial, a partir da opinião dos pesquisadores entrevistados, a nanotecnologia representa um potencial a ser explorado pela indústria. As consequências de sua adoção podem ser benéficas do ponto de vista da eficiência e eficácia dos produtos comercializados, ou apresentar implicações negativas para os produtores de matérias primas e *commodities*. Em termos de impactos na cadeia de matérias primas o Pesquisador 1 também indica a preocupação com o comércio e produção de *commodities* mas destaca que “(...) haverá um impacto altamente benéfico para a conservação dos recursos naturais de nosso planeta”. De forma geral, os pesquisadores entrevistados acreditam que a inserção da nanotecnologia na indústria trará implicações para as matérias primas atualmente utilizadas, no

⁷⁵ “Commodity é um termo de língua inglesa (plural commodities), que significa mercadoria. É utilizado nas transações comerciais de produtos de origem primária nas bolsas de mercadorias. O termo é usado como referência aos produtos de base em estado bruto (matérias-primas) ou com pequeno grau de industrialização, de qualidade quase uniforme, produzidos em grandes quantidades e por diferentes produtores. Estes produtos “*in natura*”, cultivados ou de extração mineral, podem ser estocados por determinado período sem perda significativa de qualidade. Possuem cotação e negociabilidade globais, utilizando bolsas de mercadorias” (MDIC, 2014).

entanto, destacam que muitas delas serão melhoradas e não extintas. É o caso, por exemplo, do aço e dos polímeros (plástico), como nos indicou o Pesquisador 2.

O plástico (polímero) tem custo muito baixo e quando combinado com outros elementos, pode surpreender, podendo até mesmo ser utilizados como peças estruturais. E não menos importante a família do grafeno que é um grande candidato a substituir o aço e outros materiais estruturais, além de suas outras aplicações em eletrônicos flexíveis (Pesquisador 2).

No caso das implicações para o processo produtivo e no emprego, a maior parte dos pesquisadores indicou que a adoção da nanotecnologia de forma ampla pela indústria poderia sim trazer alterações para esses dois aspectos. No caso da produção, a questão da segurança e dos riscos seria a principal mudança em termos do trabalho desenvolvido nos processos produtivos. O Pesquisador 6 acredita que mesmo na fase incremental da nanotecnologia, a força de trabalho pode enfrentar a eliminação postos de trabalho e que acabe surgindo a necessidade de trabalhadores mais especializados, no entanto, em quantidade reduzida. Para os pesquisadores entrevistados, os principais produtos e processos em nanotecnologia no Brasil atualmente são os cosméticos, os fármacos, medicamentos e alimentos. E os com potencial de desenvolvimento, segundo o Pesquisador 3, os plásticos, as borrachas, os artigos têxteis, os materiais de construção, as tintas, os vernizes e os fertilizantes. Para o Pesquisador 3, “(...) há no Brasil empresas de porte razoável que são fornecedoras de matérias primas nanotecnológicas para a indústria de medicamentos, cosméticos, alimentos e nutracêuticos”. A possibilidade de incorporação pela indústria não se restringe a poucas atividades produtivas, mas sim, uma ampla capacidade de inserção em diversos tipos de atividade industrial. Essa perspectiva vai compartilhada pelos pesquisadores entrevistados que destacam que a “(...) nanotecnologia tem capacidade de abranger todas as áreas e setores da economia (Pesquisador 1)”.

No entanto, a utilização da nanotecnologia sem um marco regulatório sobre os riscos, toxicologia e segurança coloca-se como um aspecto negativo da ampla

adoção da tecnologia pela indústria. Para um dos pesquisadores, a forma como as nanopartículas vêm sendo utilizadas, no caso as de prata, “beira a criminalidade” (Pesquisador 4). São partículas utilizadas em palmilhas e outros tipos de materiais que são descartados sem avaliação dos impactos que a ação bactericida pode causar no meio ambiente. A questão da regulamentação não foi citada pelos pesquisadores como um obstáculo para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. A partir disso, fica difícil afirmar que a existência de leis já no início da utilização das nanopartículas e nanomateriais poderiam colocar em risco os investimentos destinados para a nanotecnologia, como afirmaram alguns empresários durante as atividades do Fórum de Competitividade de Nanotecnologia.

Os obstáculos a serem enfrentados, segundo os pesquisadores, dizem respeito principalmente à disponibilidade de recursos financeiros destinados ao setor. Esses investimentos deveriam ser realizados tanto pelo poder público, na forma de estímulo governamental, quanto pela iniciativa do setor privado em estruturar núcleos de pesquisas próprios para o desenvolvimento da nanotecnologia. Aspectos relacionados à educação foram citados como obstáculos, principalmente pela qualidade do ensino atualmente disponível para a maior parte da população que traz reflexos tanto no entendimento do que é a nanotecnologia, quanto na qualificação técnica. O pesquisador 6 também ressalta um aspecto importante em relação à dificuldade de obtenção de financiamento para pesquisas em áreas que não são as de prioridade, definidas pelo governo e pelo CNPq. A política de seleção de projetos com vistas a atender áreas pré-definidas teria “(...) historicamente quase que excluído qualquer iniciativa de pesquisas focalizando o campo das ciências humanas” (Pesquisador 6).

Em relação ao desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil a visão geral dos pesquisadores entrevistados indica que o país possui massa crítica suficiente para dar continuidade ao desenvolvimento e aplicação da tecnologia. As implicações para a estrutura produtiva são percebidas como parte do processo de desenvolvimento tecnológico, no entanto, ressalvas sobre a necessidade de regulação do uso e descarte dos nanomateriais são indicados como pontos importantes do processo de implementação da tecnologia. A capacidade de

espraçamento da nanotecnologia em diversas atividades econômicas reforça o caráter transectorial e a demanda por trabalhadores qualificados se relaciona com a diversidade de áreas do conhecimento que se associam para desenvolver pesquisas e projetos com base nanotecnológica. O aspecto da interdisciplinaridade, muito mencionado nos estudos que tratam da pesquisa, educação e aplicação da nanotecnologia, aparece na fala dos entrevistados como articulação de profissionais de diferentes campos do conhecimento que se complementam para trabalhar com as propriedades da matéria na escala nanométrica. Além da composição de diferentes áreas do conhecimento associa-se o elemento dos diferentes níveis profissionais entre os trabalhadores. Na percepção dos pesquisadores entrevistados, além dos diretamente envolvidos em pesquisa, aqueles que atuam nas diferentes etapas produtivas – técnicos, especialistas, trabalhadores com Ensino Médio – necessitariam de algum tipo de treinamento para obter noções sobre a nanotecnologia. É no item seguinte que as demandas de qualificação técnica são mais bem exploradas.

5.4.2 A necessidade de qualificação para a nanotecnologia, segundo alguns pesquisadores da área

Os aspectos da qualificação relacionados à nanotecnologia foram aprofundados no segundo bloco de questões feitas aos pesquisadores. A falta de trabalhadores tecnicamente qualificados é um aspecto recorrente na literatura internacional sobre a inserção da nanotecnologia na indústria e possíveis gargalos para o seu desenvolvimento. Na opinião dos pesquisadores brasileiros entrevistados, a questão da escassez de trabalhadores qualificados se estende a outras profissões e áreas tecnológicas, da qual a nanotecnologia pode fazer parte. Esse processo de escassez foi denominado pelo Pesquisador 3 como um *apagão de mão-de-obra*, que não se restringe a uma área específica. Alguns deles indicam que atualmente não sentem falta de pessoas qualificadas para desenvolver a tecnologia no Brasil, muito em função dos estágios iniciais em que a nanotecnologia se encontra em sua interface com a indústria. No campo científico haveria qualificação técnica suficiente, segundo os pesquisadores, para

o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. Porém, os pesquisadores indicam que não têm como prever os impactos para as cadeias de empregos. O Pesquisador 5 deduz que com o aumento das indústrias fazendo uso da nanotecnologia, certamente a demanda por trabalhadores vai aumentar em todos os níveis de qualificação. Para o Pesquisador 2 uma medida preventiva para uma possível falta de trabalhadores seria a promoção de mais cursos de pós-graduação e a inserção de disciplinas nos cursos de graduação com a temática da nanotecnologia. Contudo entendemos que essa medida atenderia somente parte da demanda de força de trabalho e não o conjunto de trabalhadores. Novamente a qualificação de nível médio e técnico não parece ser uma preocupação para os pesquisadores da área.

A falta de cursos para outros níveis de ensino, além do superior, foi mencionada como um agravante para o quadro de escassez de trabalhadores. Segundo o Pesquisador 6 não há núcleos de formação disponíveis os trabalhadores de nível técnico, opinião que corresponde ao cenário nacional em termos de cursos técnicos e profissionalizantes para a área da nanotecnologia. Para metade dos entrevistados o *treinamento* para trabalhar com nanotecnologia deveria ser realizado para diferentes níveis de trabalhadores, daquele que possui nível de escolaridade de Ensino Médio ao pós-graduado. Mesmo que na percepção de alguns pesquisadores a introdução da nanotecnologia traga poucas alterações, em termos de conteúdo da atividade do trabalho, para aqueles que desempenham atividades diretamente na manufatura – *chão de fábrica* – a falta de noções básicas sobre a nanotecnologia pode trazer sérios riscos de segurança e para o negócio.

Não é que a pessoa vai precisar saber o que é nanotecnologia, mas se não tiver noção, não vai saber de onde veio o problema. Ela tem que ter conhecimento básico sólido, esse conhecimento básico, no fundo, é conhecimento que se estuda em muitas carreiras, com mais detalhes em umas... Uma vez eu perguntei para uma pessoa da [Empresa do ramo químico, nome omitido] o que eles esperavam que um químico tivesse como preparo básico. Ele me disse: *se o aluno souber os tópicos básicos de Química, as coisas regulares, se ele souber isso para nós tá ótimo! Porque saber fazer sabão, eu sei fazer melhor que ele, mas se ele não souber o que é um diagrama de fase, eu não consigo conversar com ele*. O ponto é sempre o mesmo: existe uma formação básica, essa tem que ser muito bem cuidada e ao lado dela, a gente tem que procurar conseguir que os estudantes tenham vivacidade pra perceberem que o quê aprende de básico tem haver com o mundo que tá do lado dele. Precisamos treinar a cadeia toda, dependendo dos

papeis, nós precisaríamos de pessoas diferentes, e hoje um técnico que não noção de nanotecnologia, como ela interage, o que é uma superfície, ele não consegue entender o que ele faz, e não entendendo o que ele está fazendo, o risco de dar algo errado é muito grande. [sic] (Pesquisador 3).

Para o Pesquisador 4 a oferta de Ensino Médio de qualidade seria um bom começo, tanto para a nanotecnologia quanto para as demais áreas do conhecimento. De forma comum os pesquisadores entrevistados sinalizam para a qualidade insuficiente do ensino ofertado nas diferentes níveis. Na avaliação da maior parte dos pesquisadores entrevistados, a oferta de ensino para a formação *está aquém do necessário*, como indica o Pesquisador 2. O ensino, de modo geral, foi considerado *fraco*, trazendo impactos negativos na aprendizagem dos alunos, inclusive com reflexos para o nível superior. Os pesquisadores concordam que os conteúdos científicos necessários para a qualificação técnica nanotecnologia no nível superior se localizam em uma formação sólida em uma área do conhecimento – engenharia, mecânica, física, química, biologia, matemática, etc. – a partir da qual o trabalhador consiga estabelecer relações com a nanotecnologia.

A nanotecnologia por ser verdadeiramente multidisciplinar, transdisciplinar, não cabe a criação de um curso de graduação, pois o tema é muito extenso e não será possível formar profissionais qualificados. O que pode ajudar é a introdução de disciplinas de nanotecnologia em cursos de graduação de várias áreas, para despertar o conhecimento e interesse e ir educando aos poucos. Assim acreditamos que poderemos criar a massa crítica de pessoas interessadas e conhecedoras da nanotecnologia que futuramente serão especialistas em suas áreas. Cada um deve fazer o que sabe, mas um temperinho a mais não faz mal (Pesquisador 2).

Uma formação sólida que converse com outras áreas. Prefiro contratar um químico que não sabe o que é nanotecnologia, do que um especialista, que é genérico. O químico eu treino aqui. A disciplina de nanotecnologia nos cursos seria um incremento, mas não criar novos cursos [sic] (Pesquisador 5).

Algumas técnicas foram consideradas necessárias para compor a qualificação do trabalhador em nanotecnologia. Microscopia e caracterização física e química foram as principais técnicas citadas. Para o Pesquisador 4 “(...) a maior parte das técnicas são as convencionais, o que é diferente é a maneira de analisar o problema”. Além disso, pela diversidade campos do conhecimento que

compõe os projetos de nanotecnologia, além das possibilidades de aplicação em diversas atividades industriais, uma das principais características do trabalho com a nanotecnologia é a necessidade de constituição de uma equipe de trabalho. Seriam profissionais de diferentes áreas, em diversas especialidades, que estariam em comunicação na pesquisa e aplicação da nanotecnologia. A necessidade de equipes de trabalho e a capacidade de comunicação entre diferentes áreas do conhecimento para projetos são habilidades consideradas importantes para a constituição da qualificação do trabalhador, na opinião dos pesquisadores entrevistados.

Sem dúvida, saber se comunicar com diferentes áreas é fundamental para se conquistar empatia e atingir o objetivo mais rápido. Precisamos de pessoas de engenharia que saibam falar com biológicos, precisamos de médicos que consigam falar a linguagem de engenheiros civis. E muitos outros casos. Isto é muito importante, pois em futuras corporações estas pessoas estarão convivendo e trabalhando sob o mesmo teto [sic] (Pesquisador 2).

É muito difícil fazer qualquer coisa individualmente, você depende de equipes. É preciso ter especialistas. Bons técnicos. Equipes com pessoas que conheçam coisas diferentes (Pesquisador 3).

Realmente as nanotecnologias não trabalham sozinhas dependendo de outras tecnologias como a informática, microeletrônica, biotecnologia [sic] (Pesquisador 6).

A capacidade de trabalhar em conjunto e comunicar-se com diferentes tipos de profissionais são elementos que compõem a *noção prática* de interdisciplinaridade no campo da nanotecnologia. Para o Pesquisador 4 a interdisciplinaridade foi um nome dado para as atividades que requerem ou não a ajuda de terceiros para a resolução de uma questão. A concepção de interdisciplinaridade que prevalece entre os entrevistados não é a da formação interdisciplinar desde a base, mas a capacidade de diálogo entre campos científicos diferentes que convergem em equipes de trabalho com competências diversas. Quando perguntados como formar a força de trabalho para a nanotecnologia, a maior parte dos entrevistados não abordou amplamente o tema, mas se limitaram a indicar que a interdisciplinaridade é fator importante em atividades de nanotecnologia. O ponto de vista, de articulação entre diferentes formações profissionais, complementa o caráter que a interdisciplinaridade

assume nas pesquisas e aplicações nanotecnológicas: trata-se da construção de parceria para a solução de um problema, sem que as áreas do conhecimento percam suas particularidades.

Tendo em vista a identificação das propostas curriculares dos cursos de graduação com ênfase em nanotecnologia no Brasil, dois cursos que abordam a nanotecnologia como especializações dentro de formações mais tradicionais e um generalista, os pesquisadores foram questionados oferta seria mais apropriada. Há cautela por parte dos pesquisadores com a oferta do curso de Bacharel em Nanotecnologia, ofertado pela UFRJ. Os pesquisadores ressaltam que ainda não conseguem saber qual o destino dos alunos formados nesse curso e aceitação pelo mercado de trabalho.

Qual o título da profissão deles? Terão oportunidade de trabalhar em Nanotecnologia logo após a graduação? Irão competir por vagas de trabalho com especialistas (Mestres e Doutores)? É bem provável que terão dificuldade, pois não será uma competição favorável para os graduados em Nanotecnologias, mesmo porque eles não serão especialistas em alguma área. Como comentado anteriormente, acreditamos que a melhor solução é a promoção de Pós-graduações e a alocação de disciplinas em cursos. Uma graduação por si só dificultará a transição de um profissional multidisciplinar para o mercado de trabalho (Pesquisador 2).

Correm o risco de formar o especialista em generalidades. Quando essa pessoa entra numa equipe forte, que tem gente de diferentes áreas querendo trabalhar junto, essa pessoa pode ser aquela pessoa na equipe que tem mais facilidade de entender o que os outros falam, mas provavelmente ela não vai conseguir contribuir. Quando chegar na hora dela colocar a sua contribuição, ela terá dificuldade, e isso é um risco muito grande [sic] (Pesquisador 3).

Apesar dos riscos, dois pesquisadores consideraram que é positivo experimentar diferentes formatos de oferta de curso superior e que do Bacharelado em Nanotecnologia pode representar um avanço para a área no Brasil. Um exemplo de curso em nanotecnologia, ofertado no Canadá, é citado pelo pesquisador 3 como um formato interessante, principalmente por estabelecer diálogo com a prática profissional, por meio de relacionamentos com as empresas. Mais uma vez a relação entre universidade-empresa é destacada como saudável para o desenvolvimento de carreiras tecnológicas.

Uma opção que não se pode dizer que é fácil de implementar no Brasil porém é interessante citar, é o exemplo de Waterloo no Canadá, eles tem um curso de engenheiro nanotecnológico e é um curso que eles chamam de corporativo. O aluno passa um ou dois semestres na universidade e depois passa um período na indústria e depois volta para a universidade. O interessante nisso é que o próprio aluno transita entre duas realidades diferentes, traz informação e ele mesmo tem possibilidade de se construir de forma única, pois a experiência que ele terá será única. Numa área assim muito aberta, onde as coisas estão acontecendo, mais ninguém sabe exatamente onde vai dar, acredito que é uma experiência interessante. Sou a favor de qualquer formato mais acredito que tenha que ser colocado uma condição: deve ter um diálogo com a empresa, diálogo constante, porque se não tiver corre um risco de se tornar uma experiência de altíssimo risco (Pesquisador 3).

Na opinião de três pesquisadores o formato curricular mais adequado seria aquele que fornece uma formação sólida em uma área do conhecimento com interlocução com o setor empresarial. Na opinião do pesquisador 4, o curso generalista da UFRJ estaria preparando os graduados para entrar na pós-graduação. Um bom nanotecnólogo, com formação em um bom currículo mínimo, devido à extensão e complexidade da nanotecnologia, dificilmente seria factível. Opinião semelhante é compartilhada pelo pesquisador 5, que acredita que um curso de nanotecnologia teria que optar por uma formação sólida em ciências base e todas com ênfase na ciência dos materiais.

No âmbito universitário, se você for pensar no curso de nanotecnologia, eu acho que é preciso de uma formação muito sólida em matemática, química, física básica seria um curso de ciência de materiais onde teriam essas disciplinas com uma segunda parte olhando justamente o comportamento da matéria em dimensões bastante reduzidas. Deveria ter uma visão de mecânica quântica (dos resultados advindos da mecânica quântica). Então seria um curso de estrutura da matéria no âmbito da nanotecnologia. Isso no início, e já mais adiantado o curso, deveriam ter matérias voltadas para mais para a estrutura da matéria, um pouco de química quântica, físico- química. E no final do curso, direcionar o aluno: um pouco das biológicas, sensores, nanoeletrônica, bioeletrônica (ramo que futuramente será muito requisitado, com isso deve-se investir agora) [sic] (Pesquisador 5).

A formação ideal, focada em nanotecnologia, provavelmente seria tão longa que inviabilizaria o desenvolvimento do curso. No entanto, a formação sólida em alguma área do conhecimento com interface com a escala nanométrica é reforçada pelos entrevistados. A questão, para o pesquisador 4, são os profissionais que já estão trabalhando na indústria.

Mas para a indústria eu não me preocupo muito com o nanotecnólogo; me preocupo se os engenheiros, os químicos, os físicos que estão na indústria, se eles têm domínio da nanotecnologia suficiente para compreender as oportunidades, possibilidades e risco. Formados há mais tempo, certamente não tiveram contato em seus currículos com a nanotecnologia, se tiveram, foi superficial. Quem está hoje no mercado deve sobreviver por mais 25 anos e essas pessoas, se a gente não prestar atenção, vão estar com mais um fator de obsolescência. Por isso é importante o trabalho de difusão, informação, para que elas evitem dentro de um processo de introdução de nanotecnologias em todos os setores industriais, que vem se acelerando e vai em frente [sic] (Pesquisador 4).

Trata-se de uma qualificação técnica direcionada para os profissionais de nível superior, que ocupariam cargos de gestão, pesquisa e inovação dentro das empresas. Atualmente o país dispõe de cursos bem conceituados pela CAPES nas áreas da Física, Química e Engenharia. No entanto, a atualização dos profissionais tem sido feita principalmente por diferentes entidades com a oferta de palestras e *workshops* em nanotecnologia. São exemplos o treinamento em Microscopia Eletrônica de Transmissão pelo LNNano; a Escola de Microscopia Eletrônica, promovida pelo Inmetro; seminário e palestras promovidas pela FUNDACENTRO e Embrapa. Considerando os dois blocos de questões, o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil não parece encontrar nenhum obstáculo significativo, mas dependeria da iniciativa da indústria para a tecnologia efetivamente desenvolver-se com aplicação comercial. Ainda que as pesquisas estejam sendo desenvolvidas pelas universidades e laboratórios nacionais, é na relação com o mercado que os esforços estão concentrados.

5.5 POR UMA SÍNTESE: A QUALIFICAÇÃO PARA A NANOTECNOLOGIA

Entre os atores analisados – pesquisadores, governo, universidades e empresários – um ponto de vista é comum: o Brasil possuiria força de trabalho com qualificação de nível superior suficiente, principalmente na área da pesquisa básica, para dar andamento ao desenvolvimento da nanotecnologia em direção à aplicação industrial. Esse ponto de vista contradiz, em parte, as previsões da

literatura internacional e de algumas empresas incorporadoras de nanotecnologia, que a falta de trabalhadores poderia significar um gargalo para o desenvolvimento da nanotecnologia. O gargalo no ciclo de inovação parece estar concentrado em outro aspecto do desenvolvimento da nanotecnologia para o uso comercial: a capacidade das empresas em inovar. A disponibilidade de massa crítica para a P&D não garante que o elo com a cadeia de produção de valor seja estabelecido. Contudo o desenvolvimento comercial de tecnologias emergentes tem sofrido apelo governamental como forma de dar dinamismo ao desenvolvimento econômico e ao progresso social.

Pelos dados coletados avaliamos que a nanotecnologia ao ser incorporada por empresas que não se dedicam a sua concepção, assume o caráter de incremento tecnológico da base produtiva aparecendo ao trabalhador da manufatura indistintamente como valor agregado ao trabalho morto. As empresas que inovam via nanotecnologia não mencionam a necessidade de treinar seus trabalhadores da manufatura para o uso de uma nova tecnologia. Estariam utilizando trabalhadores altamente qualificados tecnicamente para atividades de concepção e aplicação comercial da nanotecnologia e para as atividades de fabricação os trabalhadores de nível médio e técnico que provavelmente não têm conhecimento que estão atuando com uma nova tecnologia.

O arranjo flexível de competências diferenciadas em um mesmo processo produtivo é a forma como as empresas pesquisadas organizam seus trabalhadores para dar conta da introdução da nanotecnologia como inovação tecnológica industrial. Arriscamos ao afirmar que os processos de trabalho não parecem ter sido alterados em função da entrada da nanotecnologia no setor da manufatura. Podemos deduzir se trata de um momento de transição dos projetos para a manufatura. Pelos dados analisados os trabalhadores da manufatura deveriam passar por uma atualização para compreender os riscos, os parâmetros de segurança e a manipulação dos materiais nanométricos ou produtos que tenham nanopartículas embarcadas, mas isso não foi possível de ser verificado. No nível técnico algumas atividades como a microscopia e caracterização de materiais parecem ser os principais conteúdos a serem demandados pela manufatura. Algumas empresas e pesquisadores sinalizam que pode haver

modificações no processo de trabalho em função da adoção da nanotecnologia, no entanto, não foi possível avaliar qual a medida dessas transformações. Ou seja, é possível observar que o modelo de relações de trabalho atualmente vigente, sob a forma geral da flexibilidade, não tende a sofrer alterações no que diz respeito à organização dos trabalhadores no ambiente de trabalho.

A demanda de um trabalhador com maior conhecimento científico-tecnológico está em sintonia com um perfil de trabalhador que realiza atividades complexas, principalmente de concepção, necessitando de conhecimentos teóricos específicos para atuar nos processos produtivos que incorporam a nanotecnologia. O perfil da qualificação para a nanotecnologia diz respeito a uma pequena parcela de trabalhadores, dedicados às atividades de concepção e aplicação de soluções. Somente parte dos trabalhadores das empresas pesquisadas desempenham essas atividades complexas que requerem a capacidade de comunicar-se com outras áreas do conhecimento, articulando a teoria e as demandas comerciais das empresas para a tecnologia. Esse tipo de trabalhador explicita as competências advindas das transformações da base produtiva a partir da reestruturação produtiva, em que ciência e tecnologia são utilizadas para alavancar a competitividade das empresas.

O perfil de trabalhador requisitado pelas empresas e a oferta educacional brasileira para a nanotecnologia estão em sintonia. As empresas não estão sentindo falta de trabalhadores de nível médio e técnico, demanda atualmente trabalhadores de nível superior de escolaridade. Os principais trabalhadores envolvidos nesse processo estão localizados nas atividades de P&D e atuam como ponte de transferência do conhecimento acadêmico para a aplicabilidade comercial. A organização do trabalho para a concepção e aplicação da nanotecnologia têm se dado na forma de composição multidisciplinar de trabalhadores com uma orientação interdisciplinar de pesquisa. Trata-se de diferentes profissionais – Físicos, Químicos, Engenheiros, Médicos, Farmacêuticos, etc. – que se unem para a resolução de um projeto, a partir da contribuição dos conhecimentos de cada área científica no entendimento e possibilidades das propriedades e aplicações na escala nanométrica. Tanto a capacidade de transitar por mais de uma área do conhecimento quanto a

capacidade de trabalhar em equipe, são atributos fundamentais apontados pelos atores pesquisados para compor a qualificação para a nanotecnologia. Pelos depoimentos dos pesquisadores e pela observação participante realizada no Fórum de Competitividade, a nanotecnologia traz, nesta fase de adoção pela indústria, incremento à produção e não uma revolução no modo de produzir. Portanto, neste momento o principal conteúdo de qualificação para o trabalhador da manufatura é o acesso ao conhecimento sobre riscos e segurança ao manipular produtos ou materiais que utilizam nanotecnologia.

CONCLUSÕES

O objetivo geral desta tese foi identificar se a incorporação recente da nanotecnologia em produtos e processos industriais no Brasil está requerendo algum tipo específico de qualificação para os trabalhadores que atuam em tais processos. Por se tratar de uma pesquisa exploratória em que buscamos traçar uma visão geral sobre o desenvolvimento da nanotecnologia e as possíveis implicações para a qualificação, algumas questões não foram totalmente elucidadas e deverão ser aprofundadas em pesquisas futuras. A pesquisa empírica foi construída a partir de questionários aplicados aos coordenadores de cursos de graduação existentes no Brasil com ênfase em nanotecnologia, representantes de empresas com atividades em nanotecnologia e pesquisadores da área de nanotecnologia. À luz da revisão bibliográfica e documental procuramos compreender algumas determinações entre a parte estudada do fenômeno e sua totalidade, qual seja, o processo de transformação continua das forças produtivas e suas implicações para a força de trabalho. Ao acompanharmos o desenvolvimento do tema de pesquisa em tempo real e dado seu caráter emergente, algumas determinações que permitirão mais bem compreender o papel da nanotecnologia no processo produtivo contemporâneo ainda estão por se desenrolar. Não há ainda uma relação suficientemente complexa para delinear as características maduras do fenômeno, ainda assim, recorrendo a uma parte da totalidade em construção com sucessivas aproximações foi possível observar algumas características desse processo.

Considerando o caráter periférico do sistema produtivo brasileiro e a importância que novas tecnologias possuem historicamente para o empresário brasileiro, observamos que para a maior parte dos trabalhadores a nanotecnologia não tem alterado a base técnica de produção automatizada e informatizada. A possibilidade de escassez de profissionais, mencionada pelas pesquisas internacionais, não foi percebida no Brasil como um gargalo para o desenvolvimento da nanotecnologia neste momento. As empresas pesquisadas possuem profissionais qualificados para as atividades da nanotecnologia, caso

contrário, as atividades não estariam em andamento e não haveria a perspectiva de serem ampliadas pela maior parte das empresas entrevistadas. As competências esperadas desses profissionais são as mesmas requeridas por aqueles setores da indústria que produzem inovações tecnológicas e acabam sendo absorvidas por outras empresas no regime da produção flexível. A qualificação técnica requerida neste momento para a nanotecnologia, diz respeito somente a uma parcela dos trabalhadores das empresas pesquisadas. São profissionais que atuam em atividades de concepção e aplicação da nanotecnologia em produtos e processos, dotados de competências que os permitam articular as propriedades da matéria na escala nanométrica e as necessidades de inovação da indústria.

O perfil geral é de trabalhadores com maior tempo de escolaridade e treinamento investidos na profissionalização. Formados principalmente nas áreas científicas de base da nanotecnologia – Química e Engenharias – e em áreas do conhecimento relacionadas à especificidade de cada setor produtivo – no caso os farmacêuticos - estão organizados em equipes multidisciplinares de trabalho. Concentrados nas áreas de P&D das empresas dedicam-se à pesquisa das propriedades na matéria na escala nanométrica para aplicação comercial nova e/ou para efetivar inovações incrementais nos produtos tradicionalmente produzidos em cada empresa. Tomando o perfil da indústria que inova no Brasil comparado as empresas pesquisadas nesta tese observamos que os profissionais alocados nas atividades de P&D para a nanotecnologia possuem maior qualificação técnica. Ainda assim não sabemos se está é uma tendência para a composição dos trabalhadores para as atividades de nanotecnologia nas empresas ou por se tratar de um momento inicial de entrada da tecnologia na indústria, trabalhadores de maior conhecimento acumulado estejam sendo empregados com a finalidade de criar massa crítica disponível na empresa.

Somente nas empresas produtoras de nanotecnologia, ou seja, fornecedoras de solução nanotecnológica, o trabalho realizado possui uma peculiaridade: organizar as equipes de trabalho orientadas pelo princípio da interdisciplinaridade para executar os projetos. A interdisciplinaridade requerida para a formação em nanotecnologia se concretiza no ambiente de trabalho

enquanto trabalho conjunto entre diferentes áreas do conhecimento que visam a resolução de uma problemática de cunho comercial. Os trabalhadores alocados nas atividades de P&D experimentam a transposição da pesquisa realizada em centros de pesquisa e universidades para uma pesquisa de aplicação comercial e suas particularidades. Do ponto de vista do processo produtivo são esperadas desses profissionais competências cognitivas complexas na articulação entre conhecimento teórico disciplinar, comunicação com outras áreas e ainda, a capacidade de aplicar a pesquisa de caráter acadêmico para o uso comercial.

Chamamos essa peculiaridade da qualificação nas empresas fornecedoras de nanotecnologia de *competência corporativa*. A competência corporativa seria adquirida nas atividades próximas as empresas – estágio, parcerias, etc. – ou ainda no próprio ambiente de trabalho. Essa competência se caracteriza pela capacidade de transpor o modelo de produção de inovação próprio da academia para a produção de inovação na indústria. A aquisição dessa competência prática de características comerciais estaria sendo feita na própria empresa, uma vez que a maior parte das empresas indicou que não estão fazendo parcerias com centros de pesquisa e universidades. As empresas pesquisadas têm buscado profissionais com experiência anterior na pesquisa básica e realizado um treinamento na própria empresa no quesito da interlocução da pesquisa básica com a aplicação comercial. Do ponto de vista da eficiência das políticas de incentivo de aproximação entre academia e empresas no desenvolvimento de projetos que visem o incremento tecnológico da indústria, no caso da nanotecnologia, é prematuro afirmar que a tendência de baixa procura do empresariado nacional por inovar seja rompida com a entrada de tecnologias emergentes no mercado.

Nas atividades de manufatura foram apontadas mudanças no processo de fabricação e nas tecnologias utilizadas de algumas empresas, mas não possuímos dados suficientes para afirmar que não houve nenhuma nova demanda de qualificação para estes trabalhadores. No entanto, não foi assinalado demanda de novas competências, nem obstáculos para continuidade das atividades por dificuldades apresentadas pelos trabalhadores desse setor. As empresas pesquisadas indicam que a qualificação técnica dos trabalhadores

atualmente empregados é suficiente para os processos que envolvem a nanotecnologia. Questão essa que merece ser mais bem investigada em futuras pesquisas, uma vez que não foi possível precisar se todos os trabalhadores da manufatura das empresas incorporados estão envolvidos com atividades de nanotecnologia e qual seu nível de escolaridade, podendo inclusive haver graus de complexidade e arranjos de competências diferenciadas em cada empresa. Os dados coletados indicam que as empresas estão fazendo arranjos de competências que mesclam trabalhadores de nível de escolaridade superior e a média. O que se pode afirmar é que as atividades de fabricação das empresas fornecedoras de soluções nanotecnológicas estão bastante próximas das atividades de P&D e que desempenham atividades nesse processo, trabalhadores de diferentes níveis de escolaridade, com predomínio dos trabalhadores de alto nível educacional formal.

Nossos resultados indicam que se trata de um processo de inovação tecnológica industrial de caráter incremental, que se soma a base técnica atualmente utilizada. Ou seja, nos limites da pesquisa realizada, a nanotecnologia não apresenta caráter revolucionário quanto ao do paradigma produtivo e a de organização do trabalho atualmente presentes nas empresas. A maior inovação se centra na oferta de produtos com novas propriedades, diferentes daquelas encontradas no mercado, e/ou com melhoria em relação à eficácia e eficiência da finalidade do produto. Sua principal característica, no modo como ela vem sido desenvolvida no Brasil é trazer diferencial concorrencial ao capital via inovação tecnológica incremental industrial em produtos e processos. Dessa forma, a nanotecnologia que está sendo incorporada pelas empresas visa aumentar a competitividade e o os lucros, cumprindo a função de acelerar a circulação do capital por meio da redução de custos e do tempo necessário para a produção. Também, na medida em que essas inovações redundam em novos produtos, ou produtos com funções melhoradas, tais inovações ajudam as empresas a conquistar novos nichos de mercado.

De forma geral, pode-se dizer que este resultado vai de encontro com as propostas da política pública brasileira de estímulo à nanotecnologia, que a considera inovação capaz de trazer competitividade a indústria nacional pela

oferta de produtos novos e/ou mais eficientes que encontrem condições de concorrer no mercado nacional e mundial. No caso brasileiro, a nanotecnologia tem tido a orientação de inovar para aumentar a competitividade e o incremento dos lucros. Se a função da inovação na circulação do capital é trazer redução de custos e do tempo necessário para a produção, aumentando assim sua lucratividade, a proposta de desenvolvimento nacional da nanotecnologia vem cumprindo a função tanto nas políticas quanto na oferta educacional.

Ainda que seu caráter inovador seja inegável, neste momento não é possível concluir se a nanotecnologia, sozinha ou em convergência com outras tecnologias, terá influência na base técnica a ponto de revolucionar os meios de produção. No entanto, identificou-se que há uma distribuição desigual do conhecimento ao longo do processo produtivo. Segundo os dados da pesquisa empírica, somente parte da força de trabalho empregada nas empresas necessita pelo ponto de vista do capital, de conhecimentos especializados para trabalhar com atividades nanotecnológicas. São trabalhadores que atuam na ponta do processo produtivo, com atividades que demandam competências cognitivas mais complexas e capacidade lidar com diferentes linguagens, quando comparados aos trabalhadores da manufatura. Além do maior tempo necessário para completar sua qualificação técnica – trabalhadores com graduação e muitos com pós-graduação – esses profissionais desempenham atividades nessa relação social de produção que são valorizadas pelo capital. São atividades centrais para a aplicação da nanotecnologia, uma vez que a articulação entre o conhecimento científico e a aplicação comercial feita por esses trabalhadores estão no cerne dessa inovação tecnológica. Considerando que a qualificação média do trabalhador brasileiro corresponde ao nível Ensino Médio são pelo menos quatro anos a mais em termos de investimento de tempo na aquisição de conhecimentos e habilidades, o que possivelmente reflete no valor dos salários.

Muito embora o fenômeno esteja nas suas primeiras etapas de desenvolvimento, a nova mudança tecnológica trazida pela nanotecnologia parece se encaixar na tendência histórica de distribuição/requisição de conhecimento desigual entre os trabalhadores que atuam nas empresas que desenvolvem atividades relacionadas à nanotecnologia. O conhecimento é

distribuído nos processos produtivos conforme as necessidades de valorização do capital e excluído das qualificações requeridas para alguns trabalhadores, conforme esse mesmo interesse. As competências para a nanotecnologia vêm sendo organizadas pelo arranjo de competências diferenciadas (KUENZER, 2007), neste caso, em um mesmo processo produtivo. O conhecimento relativo à nanotecnologia chega, para a maioria dos trabalhadores da fabricação, objetivado em um material ou insumo, sem a necessidade para o capital, de que o trabalhador do chão de fábrica se aproprie de tal conhecimento.

A falta de qualidade da oferta educacional brasileira compromete a autonomia intelectual, inclusive no ensino de nível superior, por desenvolver pouco o raciocínio científico complexo. Concordamos com Kuenzer (2009) ao afirmar que o ensino a ser ofertado pela escola pública, principal espaço de acesso ao conhecimento pelos filhos da classe trabalhadora, deveria estar comprometido com a oferta de diferentes tipos de conhecimentos articulando cidadania, cultura e trabalho na formação escolar (KUENZER, 2009, p. 12). Os reflexos dessa educação enviesada são sentidos inclusive nos cursos de qualificação que raramente abordam as questões de saúde e segurança das atividades profissionais. Para a nanotecnologia o acesso a informação sobre os riscos para a saúde e segurança são elementos hoje negados a maior parte dos trabalhadores que desempenham atividades com essa tecnologia. A informação sobre os riscos e benefícios pode ser uma forma transversal de acesso ao conhecimento sobre o que é a nanotecnologia, ou seja, conhecendo as implicações do uso e manipulação da nanotecnologia os trabalhadores da manufatura poderiam adquirir conhecimento sobre as bases tecnológicas sobre as quais trabalham. Essa competência poderia ser demanda da classe trabalhadora como componente da qualificação para a nanotecnologia do ponto de vista do trabalho.

Nos interstícios das contradições das relações capitalistas entre trabalho e educação devem-se concentrar as ações que buscam estimular a capacidade humana de refletir e agir sobre suas condições de existência. No caso da nanotecnologia a demanda pelo raciocínio cientificamente embasado e o estabelecimento de relações entre as diferentes áreas do conhecimento coloca-se

como imperativo para o desenvolvimento da tecnologia, porém, essa demanda de raciocínio lógico formal cabe somente para uma parcela bastante restrita da produção e arriscamos indicar, ainda que não tenhamos investigado, que mais bem remunerada em relação aos demais trabalhadores. Atuar interdisciplinarmente em direção à aplicação comercial é competência requerida de alguns trabalhadores estratégicos nos processos. A tecnologia no sistema produtivo capitalista tem função bastante definida: diminuir a dependência da subjetividade do trabalhador e aumentar a capacidade lucrativa do capital investido em trabalho morto acumulado nos meios de produção. É uma falácia crer que processos produtivos que se utilizam de inovações tecnológicas demandem, invariavelmente, aumento da qualificação técnica do corpo de trabalhadores, com a nanotecnologia o cenário identificado não foi diferente.

APÊNDICES

QUESTIONÁRIO SOBRE O PERFIL DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DOS FUNCIONÁRIOS DE EMPRESAS COM ATIVIDADES EM NANOTECNOLOGIA

Sobre o uso dos dados: Os dados obtidos através deste questionário serão utilizados com o único propósito de desenvolver uma tese de doutorado. Os dados de todas as empresas que respondam ao questionário serão processados em conjunto, sem identificação individual das mesmas. Nenhuma empresa ou responsável pelo preenchimento do questionário serão identificados pelo seu nome, apenas pelo setor de atividade.

I. Dados gerais sobre a empresa e suas atividades em nanotecnologia

Nome da Empresa:

Origem do capital da empresa:

No. de funcionários:

Ano de fundação:

Empresa atualmente incubada? Sim () Não () Foi incubada até o ano:

E-mail para contato:

1. Em que setor produtivo atua sua empresa?
2. Em que ano a empresa começou a desenvolver atividades em nanotecnologia?
3. Em que fase se encontram as atividades em nanotecnologia da empresa? (Caso diversas linhas de produtos estejam em fases distintas, pode marcar mais que uma opção).
() Pesquisa & Desenvolvimento () Fase pré-comercial () Comercialização
4. A empresa possui um centro de P&D próprio? Sim () Não ()
5. Se a empresa já comercializa produtos com nanotecnologia:
 - a) Quantos produtos comercializa?
 - b) Quando foi lançado o primeiro produto?
6. Os insumos para os produtos com nanotecnologia provêm de (Mais de uma opção pode ser marcada):

() A própria empresa () Outras empresas nacionais () Importados

II. Dados sobre recursos humanos em nanotecnologia

7. Quantos funcionários estão atualmente envolvidos nas atividades em nanotecnologia na empresa (em todas as fases, de P&D até comercialização)?

Número de funcionários:

8. Qual é o perfil de escolaridade desse conjunto de funcionários que atua em atividades em nanotecnologia nas diversas áreas da empresa? Por gentileza, preencha o número de funcionários em cada categoria do quadro abaixo.

Área	Número de funcionários em cada nível de escolaridade:					
	Ensino Médio	Técnico	Graduação	Mestrado	Doutorado	Total
Pesquisa e Desenvolvimento						
Processo de Fabricação						
Comercialização e outras atividades						

9. Qual é a área de formação dos funcionários que atuam em nanotecnologia na sua empresa. Por gentileza, preencha o quadro abaixo:

Área	Número de funcionários com formação em:				
	Física	Química	Biologia	Engenharias	Outra (especificar)
Pesquisa e Desenvolvimento					
Processo de Fabricação					
Comercialização e outras atividades					

10. Caracterize a experiência profissional anterior em nanotecnologia dos funcionários que trabalham nessa área na sua empresa. Numere de 1 a 5 conforme a importância da experiência para a empresa (1=menos importante, 5=mais importante).

- () Nenhuma experiência previa na área (foi adquirida na própria empresa)
 () Na academia e centros de pesquisa
 () Em outras empresas nacionais
 () Em empresas de outros países

11. Em sua opinião, quais são as competências mais valorizadas para trabalhar em nanotecnologia? Numerar de 1 a 5 conforme o grau de relevância (1=menos importante, 5=mais importante).

- () Graduação em ciências ou engenharia
- () Graduação específica em nanotecnologia
- () Pós-graduação em ciências ou engenharia
- () Pós-graduação em nanotecnologia
- () Formação multidisciplinar, incluindo mais de uma área das ciências e/ou engenharia
- () Capacidade de transitar bem em várias áreas do conhecimento
- () Capacidade de trabalhar em equipe
- () Outros, especifique:

12. A empresa tem enfrentado dificuldades para encontrar recursos humanos qualificados para atuar em nanotecnologia? Sim () Não () Caso afirmativo, indique a razão (pode indicar mais de uma opção):

- () Falta de oferta de recursos humanos com formação específica em nanotecnologia
- () Cursos tradicionais não abordam tópicos em nanotecnologia
- () As universidades e cursos técnicos não oferecem formação em técnicas específicas
- () Há escassez de recursos humanos no nível de pós-graduação
- () Há escassez de recursos humanos no nível de graduação
- () Há escassez de recursos humanos no nível técnico
- () outros, especifique:

13. A empresa realizou (ou solicitou a terceiros) algum curso de formação em nanotecnologia para os seus funcionários? Sim () Não () Caso afirmativo, indique o conteúdo do curso:

14. A introdução da nanotecnologia na área de manufatura tem implicado mudanças importantes:

- a) nos processos de fabricação Sim () Não ()
- b) nas tecnologias utilizadas Sim () Não ()
- c) outros, especifique:

15. Na área de manufatura, a escolaridade média dos funcionários de sua empresa é suficiente para desenvolver processos produtivos que incorporam nanotecnologia? Sim () Não ()

Escolaridade média dos funcionários da sua empresa na área de manufatura: _____ anos

16. Os funcionários da empresa que atuam na manufatura enfrentam ou enfrentaram alguma dificuldade em relação à introdução da nanotecnologia nos processos produtivos? Sim () Não () Caso afirmativo, indique quais dificuldades:

17. A empresa tem feito parcerias com universidades e centros de pesquisa em busca de recursos humanos para a atuação na área de nanotecnologia?

Sim () Qual: Não ()

18. A empresa tem feito parcerias com centros de formação profissional em nível técnico em busca de recursos humanos para a atuação na área de nanotecnologia?

Sim () Qual: Não ()

III. Desenvolvimento futuro das atividades em nanotecnologia

19. A empresa planeja ampliar suas atividades em nanotecnologia nos próximos 5 anos ? Sim () Não ()

20. A empresa tem planos de ampliar o quadro de funcionários vinculado a atividades envolvendo nanotecnologia nos próximos cinco anos? Sim () Não ()

Caso afirmativo, pode indicar em que áreas:

() P&D () Manufatura () Comercialização () Outras

21. A empresa enxerga algum obstáculo à expansão das suas atividades em nanotecnologia? Numerar de 1 a 5 conforme o grau de relevância (1=menos importante, 5=mais importante).

- () Alto custo de P&D
- () Vantagens menores que as esperadas
- () Falta de pessoal qualificado
- () Falta de mercado consumidor
- () Efeitos da crise
- () Ausência de laboratórios nacionais equipados
- () Incertezas sobre a regulação
- () Outros, especificar:

QUESTIONÁRIO PARA COORDENADORES DE CURSOS DE GRADUAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA

Bloco A: Perfil do Entrevistado

1. Nome:
2. Idade:
3. Nacionalidade:
4. Telefone para contato:
5. Graduação/Pós-Graduação
6. Cargo(s) que ocupa na Universidade:
7. Atividades de pesquisa:

Bloco B: Dados sobre o Curso em Nanotecnologia

1. Nome do curso:
2. Ano de implementação do curso:
3. Em que ano começou a ser planejado o curso de graduação em Nanotecnologia? Qual o contexto daquele momento para a inserção do curso na Universidade?
4. Quais os principais objetivos da criação do curso?
5. Foram encontradas dificuldades no processo de criação do curso? Caso sim, quais?

Bloco C – Organização curricular e desenvolvimento do curso

6. O curso se concentra em alguma área específica das nanotecnologias e/ou nanociências? Caso sim, por que foi feita essa escolha? Caso não exista uma especialização, por que se orientou o curso para um perfil mais generalista?
7. Como foi pensada a articulação das disciplinas no currículo?
8. Divulga-se que a área da Nanotecnologia é fundamentalmente interdisciplinar. O curso que o Sr. (Sra.) coordena foi pensado de forma interdisciplinar? Que perspectiva de interdisciplinaridade e qual *mix* de ciências fundamentou a construção do currículo?
9. O curso incorpora em disciplinas específicas, ou em parte delas, o estudo de riscos potenciais e/ou gerenciamento de riscos das nanotecnologias? Caso sim, quais?
10. O curso incorpora em disciplinas específicas ou em parte delas assuntos como as implicações econômicas, sociais e éticas das nanotecnologias? Caso sim, quais?
11. Caso as respostas das perguntas 9 e 10 sejam negativas, poderia indicar o motivo?
12. O currículo prevê período de prática em centros de pesquisa ou empresas? Foram estabelecidas parcerias entre o curso e centros tecnológicos ou empresas? Caso sim, quais?
13. Atualmente o programa possui algum vínculo com empresas incubadas em centros tecnológicos e empresas já atuantes no mercado, na área de nanotecnologia? Poderia indicar a empresa e os produtos/processos desenvolvidos?

Bloco D – Perfil do corpo docente

14. Por favor, indique quantos professores participam do curso, qual a formação e área de pesquisa de cada um deles. Havendo professores de outros cursos que também participam, inclua-os também. (Na possibilidade de consultar estes dados na página do curso não é necessário o preenchimento da tabela. Favor indicar o endereço eletrônico para consulta).

Professor	Graduação	Mestrado	Doutorado	Área principal da pesquisa

Bloco E – Perfil dos estudantes e mercado de trabalho

15. Quantidade de alunos ingressantes desde a criação do curso:
 Ano 1- _____ alunos Ano 2- _____ alunos Ano 3- _____ alunos
16. Qual o perfil do aluno que ingressa hoje no curso?
17. Qual o perfil desejável do aluno que ingressa no curso? Há algum pré-requisito ou período de adaptação ao curso?
18. Qual a taxa de permanência no curso?
19. No caso de abandono do curso, saberia indicar quais as causas?
20. Quais os principais *nichos* do mercado de trabalho que se pretende que os alunos formados no curso venham ocupar?
21. Os alunos formados ou em formação estão encontrando colocação no mercado de trabalho? Saberia informar quais os setores que estão absorvendo estes profissionais?
22. Caso não poderia indicar as principais dificuldades encontradas pelos alunos na entrada no mercado ou desenvolvimento de suas atividades profissionais?

Bloco F – Principais competências para atuar em nanotecnologia

21. Com base na sua experiência como pesquisador (a) na área, poderia definir quais são as principais competências que um profissional precisa desenvolver para atuar em nanotecnologia?
- () Curso de Graduação em área científica específica
 - () Curso de Pós- Graduação em área científica específica
 - () Possuir cursos de especialização na temática da Nanotecnologia
 - () Formação multidisciplinar
 - () Transitar em várias áreas do conhecimento
 - () Trabalhar em equipe
 - () Outros, especifique:
22. Em relação a sua resposta anterior, identifique os pontos fortes e fracos do curso que coordena.

Bloco G - Perspectivas para a nanotecnologia no Brasil

23. Quais são suas expectativas em relação ao desenvolvimento da pesquisa em Nanotecnologia no Brasil?
24. Quais são suas expectativas em relação à incorporação da nanotecnologia pela indústria nacional?

COORDENADOR (A) poderia por gentileza anexar ao e-mail de retorno do questionário a grade curricular plena do curso de graduação na área de nanotecnologia.

Deseja receber os resultados da pesquisa após a conclusão da tese? Sim () Não ()

QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PESQUISADORES DA ÁREA DE NANOTENCOLOGIA

Bloco A: percepção do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil

1. Você considera que a Nanotecnologia representa uma revolução tecnológica? Por quê?
2. Há algum obstáculo ao desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil?
3. Em que áreas observam-se maiores possibilidades da Nanotecnologia ser incorporada pela indústria no país?
4. O desenvolvimento de novos materiais poderia afetar a utilização de alguma matéria prima hoje utilizada pela indústria? Quais.

Bloco B: PERCEPÇÃO SOBRE AS DEMANDAS DE MÃO DE OBRA:

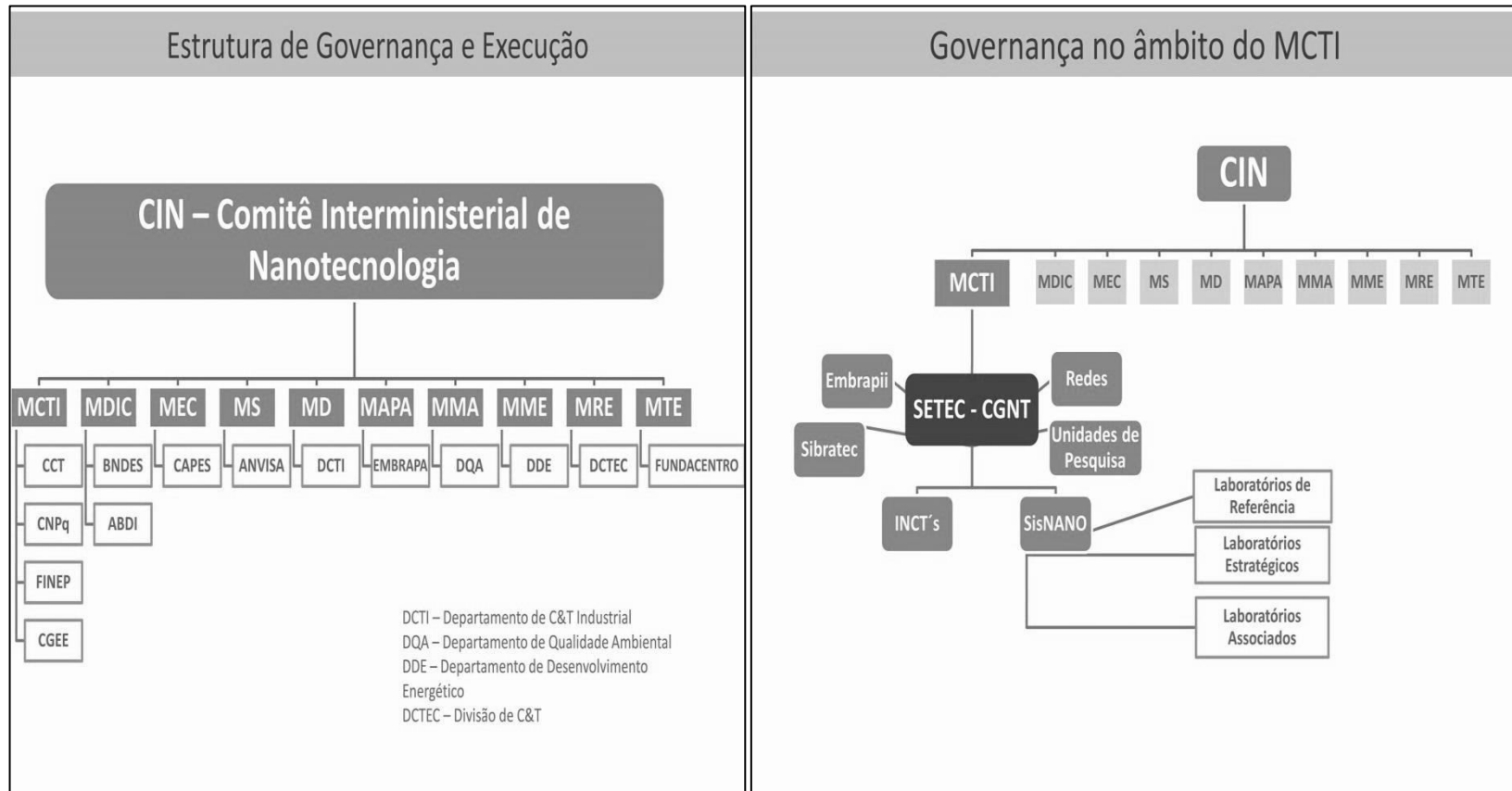
5. Do ponto de vista do processo produtivo, a incorporação das nanotecnologias implica em mudanças no processo produtivo e na estrutura de trabalho?
6. Algumas pesquisas nos EUA e Europa indicam que pode haver escassez de mão de obra qualificada para a Nanotecnologia, nos diferentes níveis educacionais, a mesma realidade pode ser identificada no Brasil? Por quê?
7. Quais seriam os profissionais a serem treinados para trabalhar com nanotecnologia na indústria (P&D, engenheiros, técnicos, chão de fábrica)?
8. Quais seriam os principais conteúdos científicos (áreas do conhecimento) a serem dominados por estes profissionais?
9. E quais seriam as principais técnicas (análise, caracterização, processo de fabricação, controle) a serem dominadas por eles?
10. As empresas indicaram a necessidade do trabalho em equipe e a capacidade de comunicação entre diferentes áreas do conhecimento. Estes são elementos fundamentais para aqueles que virão a desenvolver trabalhos com a Nanotecnologia?
11. Como você avalia a oferta atual de ensino nacional para a formação de mão de obra para Nanotecnologia?
12. Na academia se enfatiza a necessidade de uma formação interdisciplinar em nanotecnologia. O mesmo se aplica à formação da força de trabalho?
13. Hoje a oferta de ensino superior se divide em uma formação generalista em nanotecnologia (UFRJ – Bacharel em Nanotecnologia) e uma formação em área científica específica com especialização em nanotecnologia (Engenharia em Nanotecnologia – PUCRJ e Bacharel em Física: ênfase em materiais e nanotecnologia). Qual poderia ser indicada como a mais apropriada para nossa realidade?

ANEXO I**PRIMEIRAS REDES DO PROGRAMA BRASILNANO**

Coordenador	Título do Processo	Instituição
Anderson Stevens Leonidas Gomes	Rede de Nanofotônica	UFPE
Eudenilson Lins de Albuquerque	Rede Nacional de NanoBiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados (NanoBioEstruturas)	UFRN
Oscar Manoel Loureiro Malta	Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces - Estágio III	UFPE
Marcos Assunção Pimenta	Nanotubos de Carbono: Ciência e Aplicações	UFMG
Sílvia Stanisçuaski Guterres	Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas	UFRGS
Gilberto Medeiros-Ribeiro	Microscopias de Varredura de Sondas - Software e Hardware Abertos	LNLS
Adalberto Fazzio	Simulação e Modelagem de Nanoestruturas	USP
Fernando Lázaro Freire Júnior	Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados	PUC-RJ
Maria Rita Sierakowski	Nanoglicobiotecnologia	UFPR
Paulo César de Moraes	Rede de Nanobiomagnetismo	UNB

Fonte: MCTI, 2006.

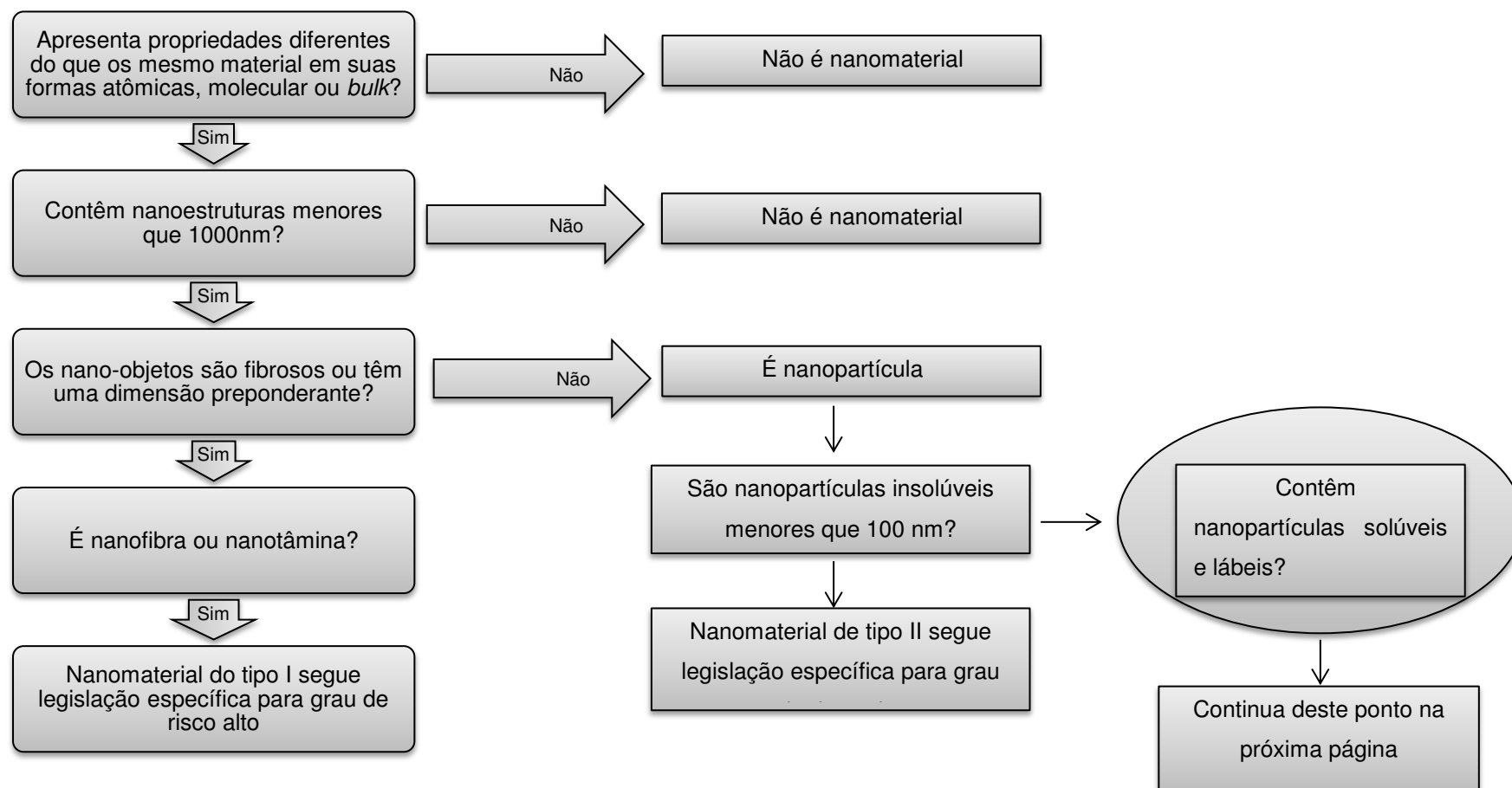
ANEXO II

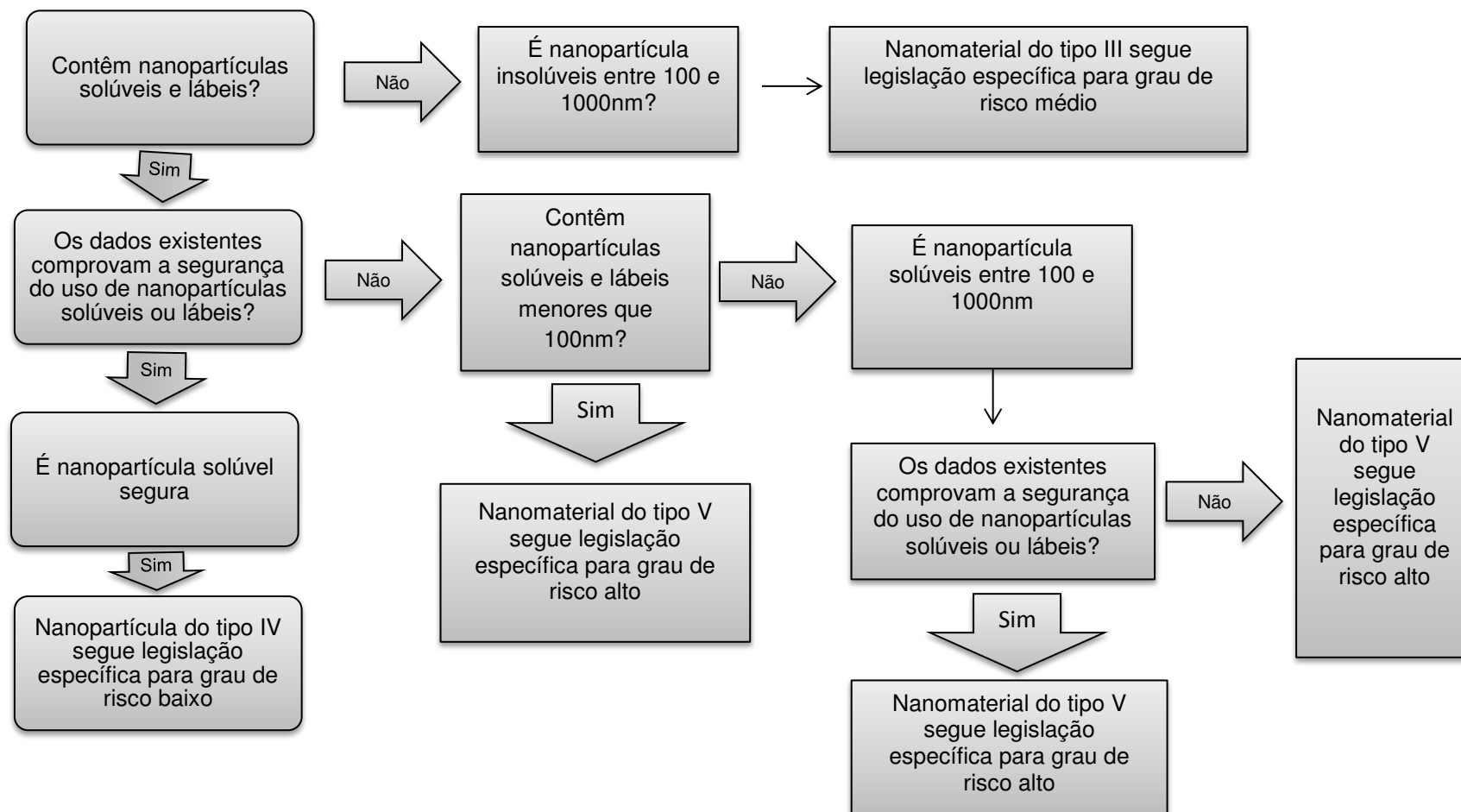


Fonte: MCTI, 2013.

ANEXO III

ALGORITMO DE PRODUTOS NANOTECNOLÓGICOS PROPOSTO PELO GRUPO DE TRABALHO MARCO REGULATÓRIO





Fonte: Adaptado de MCTI, 2013.

ANEXO IV

CURRÍCULOS DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO COM ÊNFASE EM NANOTECNOLOGIA

1. CURRÍCULO - UFRGS - CURSO: FÍSICA

Habilitação: BACHARELADO EM FÍSICA: MATERIAIS E NANOTECNOLOGIA

Créditos Obrigatórios: 147

Créditos Eletivos: 24

Créditos Complementares: 6

Total: 177

Carga Horária Obrigatória: 2325

Carga Horária Eletiva: 360

Nº de Tipos de Créditos Complementares: 2

Total: 2775

Etapa 1

Código	Disciplina/Pré-Requisito	Caráter	Créditos	Carga Horária
MAT01353	Cálculo e geometria analítica I - A	Obrigatória	6	90
FIS01258	Física experimental I - A	Obrigatória	2	30
FIS01257	Física geral I - A	Obrigatória	6	90
QUI01009	Química fundamental A	Obrigatória	4	60
Etapa 2				
MAT01355	ÁLGEBRA LINEAR I - A - MAT01353 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA I - A	Obrigatória	4	60
MAT01354	CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA II - A - MAT01353 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA I - A	Obrigatória	6	90
FIS01260	FÍSICA EXPERIMENTAL II - A - FIS01257 - FÍSICA GERAL I - A - e FIS01258 - FÍSICA EXPERIMENTAL I - A - e MAT01353 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA I - A	Obrigatória	2	30
FIS01259	FÍSICA GERAL II - A - FIS01257 - FÍSICA GERAL I - A - e FIS01258 - FÍSICA EXPERIMENTAL I - A - e MAT01353 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA I - A	Obrigatória	6	90
QUI02020	QUÍMICA ORGÂNICA TEÓRICA FUNDAMENTAL	Obrigatória	4	60
Etapa 3				
MAT01167	EQUAÇÕES DIFERENCIAIS II - MAT01354 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA II - A - e MAT01355 - ÁLGEBRA LINEAR I - A	Obrigatória	6	90

FIS01262	FÍSICA EXPERIMENTAL III - A - FIS01259 - FÍSICA GERAL II - A - e FIS01260 - FÍSICA EXPERIMENTAL II - A - e MAT01354 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA II - A	Obrigatória	2	30
FIS01261	FÍSICA GERAL III - A - FIS01259 - FÍSICA GERAL II - A - e FIS01260 - FÍSICA EXPERIMENTAL II - A - e MAT01354 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA II - A	Obrigatória	6	90
FIS01203	MÉTODOS COMPUTACIONAIS DA FÍSICA A - MAT01353 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA I - A	Obrigatória	4	60
MAT02219	PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA - MAT01353 - CÁLCULO E GEOMETRIA ANALÍTICA I - A	Obrigatória	4	60
Etapa 4				
FIS01008	ELETRÔNICA BÁSICA I - FIS01261 - FÍSICA GERAL III - A	Obrigatória	4	60
FIS01264	FÍSICA EXPERIMENTAL IV A - FIS01261 - FÍSICA GERAL III - A - e FIS01262 - FÍSICA EXPERIMENTAL III - A	Obrigatória	2	30
FIS01263	FÍSICA GERAL IV - A - FIS01261 - FÍSICA GERAL III - A - e FIS01262 - FÍSICA EXPERIMENTAL III - A	Obrigatória	6	90
MAT01168	MATEMÁTICA APLICADA II - MAT01167 - EQUAÇÕES DIFERENCIAIS II	Obrigatória	6	90
FIS01205	MECÂNICA CLÁSSICA I B - FIS01259 - FÍSICA GERAL II - A - e MAT01167 - EQUAÇÕES DIFERENCIAIS II	Obrigatória	6	90
Etapa 5				
FIS01207	FÍSICA MATEMÁTICA I A - MAT01168 - MATEMÁTICA APLICADA II	Obrigatória	6	90
FIS01208	INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA A - FIS01263 - FÍSICA GERAL IV - A - e MAT01168 - MATEMÁTICA APLICADA II	Obrigatória	4	60
FIS01052	LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA - FIS01263 - FÍSICA GERAL IV - A - e QUI01009 - QUÍMICA FUNDAMENTAL A	Obrigatória	3	45
FIS01020	TERMODINÂMICA - A - FIS01205 - MECÂNICA CLÁSSICA I B	Obrigatória	6	90
Etapa 6				
FIS01217	FÍSICA DE MATERIAIS - FIS01020 - TERMODINÂMICA - A - e FIS01208 - INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA A	Obrigatória	4	60
FIS01210	MECÂNICA QUÂNTICA - FIS01052 - LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA - e FIS01207 - FÍSICA MATEMÁTICA I A - e FIS01208 - INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA A	Obrigatória	6	90
FIS01211	TEORIA ELETROMAGNÉTICA I B - FIS01207 - FÍSICA MATEMÁTICA I A - e FIS01263 - FÍSICA GERAL IV - A	Obrigatória	6	90
Etapa 7				

FIS01250	FÍSICA DE SISTEMAS DE BAIXA DIMENSIONALIDADE - FIS01210 - MECÂNICA QUÂNTICA	Obrigatória	6	90
FIS01215	MECÂNICA ESTATÍSTICA A - FIS01020 - TERMODINÂMICA - A - e FIS01210 - MECÂNICA QUÂNTICA	Obrigatória	6	90
Etapa 8				
FIS01251	FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOESTRUTURAS I - FIS01250 - FÍSICA DE SISTEMAS DE BAIXA DIMENSIONALIDADE	Obrigatória	6	90
QUI03322	QUÍMICA COMPUTACIONAL - FIS01203 - MÉTODOS COMPUTACIONAIS DA FÍSICA A - e FIS01250 - FÍSICA DE SISTEMAS DE BAIXA DIMENSIONALIDADE - e QUI02020 - QUÍMICA ORGÂNICA TEÓRICA FUNDAMENTAL	Obrigatória	4	60
Etapa 9				
FIS01252	FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOESTRUTURAS II - FIS01251 - FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOESTRUTURAS I	Obrigatória	4	60
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - FIS - FIS01215 - MECÂNICA ESTATÍSTICA A	Obrigatória	0	120

2. CURRÍCULO - UFRJ – BACHARELADO EM NANOTECNOLOGIA

Resumo dos requisitos curriculares e carga horária

	Horas	Créditos
Disciplinas obrigatórias (núcleo comum)	1650	98
Disciplinas obrigatórias (ênfases)	600*	40*
Disciplinas compl. de escolha restrita	180*	12
Disciplinas compl. de escolha livre	180*	12
Estágios rotativos (RCC)	360	16
TOTAL	2970*	180*

* Valor aproximado

A estrutura do curso consiste em: Um núcleo comum de disciplinas obrigatórias (ciclo básico), totalizando 98 créditos e com duração aproximada de 2 anos. O ciclo básico proverá uma formação sólida em Matemática, Física, Química e Biologia, com grande superposição de disciplinas ou conteúdos com os cursos já existentes de Física, Engenharia de Materiais e Biofísica, facilitando o fluxo de estudantes entre o curso de Nanotecnologia e esses cursos.

Periodizações Sugeridas - Núcleo Comum

Núcleo comum: os três primeiros períodos terão a mesma periodização para todas as Ênfases, contendo a maioria das disciplinas do núcleo comum.

Primeiro Período	Horas	Créditos
Introdução à Nanotecnologia	30	2
Cálculo I	90	6
Química Geral I	60	4
Grandes Temas da Biologia	60	4
Biologia Celular	90	6
Química Geral Estrutural	30	2
TOTAL	360	24
Segundo Período	Horas	Créditos
Cálculo II	60	4
Programação de Computadores	45	3
Física I-A	60	4
Física Experimental I	30	1
Bioquímica de Macromoléculas	90	4
Química Geral II	60	4
Química Orgânica I	30	2
TOTAL	375	22
Terceiro Período	Horas	Créditos
Cálculo III	60	4
Física II-A	60	4
Física Experimental II	30	1
Estrutura dos Sólidos	60	4
Química Orgânica II	30	2
Química Experimental EQ	60	2
Álgebra Linear II	60	4
Genética Molecular I	60	4
TOTAL	420	25

Ciclo Profissional com 3 Ênfases: Física, Materiais e Bionanotecnologia. Cada ênfase tem seu próprio conjunto de disciplinas obrigatórias, com pelo menos 40 créditos no total.

Periodizações Sugeridas - Ênfase em Física

Quarto período	Horas	Créditos
Cálculo IV	60	4
Física III-A	60	4
Física Experimental III	30	1
Mecânica Clássica I	60	4
Bioenergética e Metabolismo	120	6
Introdução a Polímeros	30	2
Síntese e Caracterização de Polímeros Exp.	60	2
TOTAL	420	23
Quinto Período	Horas	Créditos
Física IV-A	60	4
Física Experimental IV	30	1
Eletromagnetismo I	60	4
Gerência da Inov. e Criação de Emp. de Base Tec.	45	3
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*

Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	405*	24*
Sexto Período	Horas	Créditos
Experimentos de Física Quântica	90	4
Mecânica Quântica I	60	4
Termodinâmica e Física Estatística	90	6
Física de Materiais e Dispositivos Semicondutores	60	4
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	390*	22*
Sétimo Período	Horas	Créditos
Instrumentação em Física Contemporânea	90	4
Mecânica Quântica II	60	4
Física Atômica, Molecular e Ótica	60	4
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	420*	24*
Oitavo Período	Horas	Créditos
Física da Matéria Condensada	60	4
Laboratório de Matéria Condensada	90	4
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	360*	20*

Periodizações Sugeridas - Ênfase em Materiais

Quarto período	Horas	Créditos
Cálculo IV	60	4
Física III-A	60	4
Física Experimental III	30	1
Bioenergética e Metabolismo	120	6
Processamento de Materiais	30	2
Introdução a Polímeros	30	2
Síntese e Caracterização de Polímeros Exp.	60	2
TOTAL	390	21
Quinto Período	Horas	Créditos
Física IV-A	60	4
Física Experimental IV	30	1
Gerência da Inov. e Criação de Emp. de Base Tec.	45	3
Nanomateriais	60	4
Físico-Química I	60	4
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	405*	24*
Sexto Período	Horas	Créditos
Introdução aos Materiais Cerâmicos	75	4
Físico-Química II	60	4
Cristalografia e Difração	75	4
Caracterização Microestrutural de Materiais	75	4
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4

TOTAL	375	20
Sétimo Período	Horas	Créditos
Propriedades Físicas dos Materiais	60	4
Engenharia Microestrutural de Cerâmicas	60	4
Propriedades dos Materiais Poliméricos	60	4
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	390*	24*
Oitavo Período	Horas	Créditos
Materiais Compósitos	60	4
Transformação de Fases	60	4
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	390*	24*

Periodizações Sugeridas - Ênfase em Bionanotecnologia

Quarto período	Horas	Créditos
Cálculo IV	60	4
Física III-A	60	4
Física Experimental III	30	1
Bioenergética e Metabolismo	120	6
Introdução a Polímeros	30	2
Síntese e Caracterização de Polímeros Exp.	60	2
Genética Molecular II	90	6
TOTAL	450	25
Quinto Período	Horas	Créditos
Física IV-A	60	4
Física Experimental IV	30	1
Fisiologia Celular	60	4
Físico-Química Biológica	90	5
Gerência da Inov. e Criação de Emp. de Base Tec.	45	3
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	435*	25*
Sexto Período	Horas	Créditos
Biofísica dos Sistemas	60	3
Física Moderna I	75	4
Bioquímica II	90	6
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	375*	21*
Sétimo Período	Horas	Créditos
Bases Moleculares das Doenças	60	4
Métodos Experimentais da Física em Biociências	75	3
Imunologia	60	4
Eletiva	60*	4*

Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	405*	23*
Oitavo Período	Horas	Créditos
Biologia Molecular Aplicada à Fisiologia	45	3
Medicina Molecular	30	2
Eletiva	60*	4*
Eletiva	60*	4*
Introdução à Pesquisa em Nanotecnologia	90	4
TOTAL	285*	17*

3. CURRÍCULO - PUC-RJ - ENGENHARIA EM NANOTECNOLOGIA

Código	Nome da Disciplina	Créditos
1º PERÍODO		
ENG1000	Introdução à Engenharia	2
FIS1033	Mecânica Newtoniana	4
FIS1034	Laboratório de Mecânica Newtoniana	2
MAT1161	Cálculo a uma Variável	6
MAT1200	Álgebra Linear I	4
QUI1709	Laboratório de Química Geral	2
QUI1720	Química Geral	4
2º PERÍODO		
CRE1100	O Humano e o Fenômeno Religioso	4
ENG1003	Desenho Técnico I	2
FIS1041	Fluídos e Termodinâmica	4
FIS1042	Laboratório de Fluídos e Termodinâmica	2
INF1005	Programação I	4
MAT1162	Cálculo a Várias Variáveis I	4
MAT1202	Álgebra Linear II	3
3º PERÍODO		
CRE0700	Optativas de Cristianismo	4
ENG1007	Introdução à Mecânica dos Sólidos	2
FIL0300	Optativas de Filosofia	4
FIS1051	Eletromagnetismo	4
FIS1052	Laboratório de Eletromagnetismo	2
INF1007	Programação II	4
JUR1016	Legislação Social	2
MAT1154	Equações Diferenciais e de Diferenças	4
4º PERÍODO		
CRE1141	Ética Cristã	2
ENG1015	Ciência e Tecnologia dos Materiais	2
ENG1029	Probabilidade e Estatística	4

ENG1400	Sinais e Sistemas	4
ENG1960	Introdução à Nanotecnologia	4
FIS1061	Física Moderna	4
FIS1062	Laboratório de Física Moderna	2
MAT1163	Cálculo a Várias Variáveis II	4
5º PERÍODO		
ENG0316	Optativas de Fenômenos de Transporte	2
ENG0317	Optativas de Engenharia Ambiental	2
ENG0318	Optativas de Eletricidade	3
ENG1028	Termodinâmica I	4
ENG1331	Estrutura dos Materiais	4
ENG1972	Impactos Sociais da Nanotecnologia	2
FIS1400	Estrutura da Matéria I	4
6º PERÍODO		
ENG1332	Transformações de Fases dos Materiais	4
ENG1961	Caracterização de Nanomateriais	4
ENG1973	Impactos Ambientais da Nanotecnologia	2
FIS1221	Mecânica Quântica I	4
QUI1703	Química Inorgânica I	3
QUI1750	Química Orgânica I	3
7º PERÍODO		
ENG1962	Laboratório de Caracterização de Nanomateriais	3
ENG1963	Síntese de Nanomateriais	5
FIS1405	Estrutura da Matéria III	6
FIS1602	Física Estatística	4
QUI1712	Laboratório de Química Inorgânica I	3
QUI1755	Laboratório de Química Orgânica	3
QUI1768	BioQuímica I	3
8º PERÍODO		
ENG1021	Administração para Engenheiros	2
ENG1023	Introdução à Economia para Engenheiros	4
9º PERÍODO		
CRE1171	Ética Profissional	2
ENG1144	Projeto de Graduação em Engenharia em Nanotecnologia	4
ENG1162	Estágio Supervisionado em Engenharia em Nanotecnologia	1
PERÍODO LETIVO INDETERMINADO		
ACP0900	Atividades Complementares	10
ELF0900	Eletivas Fora do Curso	8
ELL0900	Eletivas Livres - Dentro e Fora do Curso	13
ENG0314	Optativas de Nanotecnologia	27
Total de créditos:		238

REFERÊNCIAS

ABDI. **Cartilha sobre Nanotecnologia**. Brasília: ABDI, 2010.

ABDI. **Nanotecnologias: subsídios para a problemática dos riscos e regulação**. Brasília: ABDI, 2011. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Relat%C3%B3rio%20Nano-Riscos_FINALreduzido.pdf> Acesso em: 21 dez. 2013.

ABDI. **Sondagem de Inovação**. Brasília: ABDI, 2º trimestre, 2012. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Segundo%20Trimestre%20-%20Sondagem%202012.pdf>> Acesso em: 28 out. 2013.

ABDI. **Sondagem de Inovação**. Brasília: ABDI, 2º trimestre, 2013. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Sondagem%202%20Trim%20-%20BR.pdf>> Acesso em: 28 out. 2013.

ABICHT, L., FREIKAMP, H., SCHUMANN, U. **Identification of skill needs in nanotechnology**. Luxembourg: Cedefop Panorama Series, 2006. Disponível em: <http://www.cedefop.europa.eu/EN/Files/5170_en.pdf> Acesso em: 23 out 2011.

ABNT. Nanotecnologia. In: **Workshop Nanotecnologias: expectativa da indústria brasileira**. 2010. Disponível em: <<http://forumnano.abdi.com.br/DocumentacaoEventos/abnt.pdf>, 2010> Acesso em: 25 jan. 2012.

ALFONSO, Alexys B. Situação atual da divulgação e do treinamento em nanociência e nanotecnologia no Brasil. In: **Mundo Nano**. Red NANODYF-CYTE, Vol. 4, nº. 2, jul.dez, 2011.

ANTUNES, Ricardo. **Os sentidos do trabalho: ensaio sobre a afirmação e a negação do trabalho**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2004.

BAINBRIDGE, W. S.; ROCO, M. Progressive Convergence. In: BAINBRIDGE W.; ROCO, M. (eds) Managing nano-bio-info-cogno innovations. **Converging Technologies in Society**. Dordrecht: Springer, 2006. Disponível em: <<http://migre.me/b3a4C>> Acesso em: 22 jun 2012.

BAKER, S., ASTON, A. The business of nanotech. **Business Week**, 14 Feb. 64-71, 2005.

BASTOS, João Augusto. Educação e Tecnologia. In: **Revista Educação & Tecnologia**. [on-line] Curitiba: UTFPR. v.1, n.1, julho, p. 05-29, 1997. Disponível em: <http://www.ppgte.cefetpr.br/revista/vol1/art1.htm>. Acesso em: 21. jun. 2006.

BATTERSON *et al.* Education and Human Resource Development. In: ROCO e BAINBRIDGE (eds) **Nanotechnology: Societal implications: maximizing benefits for Humanity**, 88-94. Arlington: NSF, 2003. Disponível em: <<http://migre.me/aZZy2>> Acesso em: 25 jun 2012.

BIANCHETTI, Lucídio ; JANTSCH, Ari Paulo. Intedisciplinaridade : para além da filosofia do sujeito. In : BIANCHETTI, Lucídio ; JANTSCH, Ari Paulo (orgs). **Interdisciplinaridade : para além da filosofia do sujeito**. 9ªed. Petrópolis : Vozes, 2011. p. 19-33.

BMBF.Nano.de-report 2009: status quo of nanotechnology in Germany. German Federal Ministry of Education and Research. 2009 Disponível em : <http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009_en.pdf> Acesso em: 4 nov. 2010.

BRAGA, Ruy ; MARTINS, Paulo. **Nanotecnologia: promessas e dilemas da revolução invisível**. 2007. Disponível em : <<http://www.iiiep.org.br/pdfs/doc022.pdf>> Acesso em: 16 jan. 2014.

BRASIL. **Plano plurianual 2004-2007 : Mensagem presidencial**. Brasília : Ministério do Planejamento, orçamento e gestão, 2003.

BRASIL. **Plano Plurianual 2012-2015 : Brasil Maior**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2011.

CANTON, J. The Emerging Nano Economy. In ROCO, M; BAINBRIDGE, W. (eds) **Nanotechnology: Societal Implications: Individual Perspectives NSF**, p. 32-41, 2002. Disponível em: <<http://migre.me/b3a8T>> Acesso em: 25 jun 2012.

CARVALHO, Marília Gomes de. **Tecnologia**. Curitiba, UTFPR, 2001. Disponível em: <<http://www.ppgte.cefetpr.br/genero/tecnologia.htm>> Acesso em: 10. mar. 2008.

CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). **Histórico do Programa Nacional de Nanotecnologia**. Brasília: CAPES, 2005. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/nanotecnologia>> Acesso em: 14 fev. 2013.

CAVALHEIRO, Esper A. A nova convergência da ciência e da tecnologia. In : **Novos estudos**, nº 78, 2007.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). A iniciativa brasileira em nanotecnologia. In: **Parcerias estratégicas**. Brasília: CGEE, nº18, 2004. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/pe_18.pdf> Acesso em: 14 fev. 2013.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Convergência tecnológica**. Brasília: CGEE, 2008.

CLEARY, J; VAN HORN, C; FICHTNER, A. **The workforce needs of pharmaceutical companies in New Jersey that use nanotechnology:**

preliminary findings. New Brunswick, 2009. Disponível em: <<http://migre.me/b03c1>> Acesso em: 26 jun 2012.

CNI (Confederação Nacional da Indústria). **Mapa estratégico da indústria 2013-2022.** Brasília: CNI, 2013.

CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). **Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia: apresentação.** 2013. Disponível em: <http://estatico.cnpq.br/programas/inct/_apresentacao/apresentacao.html> Acesso em: 05 jan. 2013.

DAGNINO, Renato. A relação universidade-empresa no Brasil: e o “argumento da hélice tripla”. In: **Revista Brasileira de Inovação**, vol.2, n.2, jul/dez, 2003.

DAGNINO, Renato. Por que os “nossos” empresários não inovam? In: DAGNINO, Renato (org.). **Estudos sociais da ciência e tecnologia e política de ciência e tecnologia: abordagens alternativas para uma nova América Latina.** Campina Grande: EDUEPB, 2010.

DAGNINO, Renato. A crise e a política de CT&I na América Latina. In: **Economia & Tecnologia**. Paraná: UFPR, vol. 16, jan/mar, 2009.

DUBAR, Claude. A sociologia do trabalho frente à qualificação e à competência. In: **Educação e Sociedade**, vol. 19 n. 64, set. 1999.

DURKHEIM, Émile. **Educação e Sociologia.** Editora Vozes, Coleção: textos fundantes de educação, 2011.

ECODEBATE. **China tem as primeiras mortes causadas por nanotecnologia.** 2009. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2009/08/21/china-tem-as-primeiras-mortes-causadas-por-nanotecnologia/>> Acesso em: 01 nov. 2012.

ETGES, Noberto J. Ciência, interdisciplinaridade e educação. In: **Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito.** 9ªed. Petrópolis: Vozes, 2011. p.51-84.

EUROPEAN COMMISSION. **Communication from the commission to the european Parliament, the council and the european economic and social Committee: Second Regulatory Review on Nanomaterials.** Brussels, 2012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0572:FIN:en:PDF>> Acesso em: 10 nov. 2012.

EUROPEAN COMMISSION. **Site institucional.** 2013. Disponível em: <http://ec.europa.eu/nanotechnology/index_en.html> Acesso em: 05. Jan. 2013.

FEATHER, J. L.; COCKERILL, A. Education Solutions to prepare students and expand the knowledge base in Developing Countries for Nanotechnology Opportunities. **North South Dialogue on Nanotechnology: Challenges and Opportunities.** Trieste, p.10-12, 2005. Disponível em: <<http://migre.me/aZZBt>> Acesso em: 24 jun 2012.

FELIPPI, Cândice. Esmaltes e Nanotecnologia: Produtos cosméticos inovadores. In: **Blog: entendendo cosmetologia**. 2012. Disponível em: <<http://entendendocosmetologia.blogspot.com.br/2012/11/esmaltes-e-nanotecnologia-produtos.html>>. Acesso em: 31 de janeiro de 2013.

FINEP. **Notícias: MCT agora é MCTI**. 2011. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=2637> Acesso em: 01 jan. 2014.

FOLADORI, Guillermo; INVERNIZZI, Noela. Nanotechnology implications for labor. **Nanotechnol Law & Bus**, p. 68–78, 2010.

FOLADORI, Guillermo; FIGUEROA, Santiago; EDGARD, Záyago-Lau; INVERNIZZI, Noela. **Características distintivas del desarrollo de las nanotecnológicas en América Latina**. Porto Alegre: Sociologias, nº 30, mai./ago. 2012, p. 330-363.

FOLLARI, Roberto. Estudios culturales, transdisciplinariedad e interdisciplinariedad (¿hegemonismo en las ciencias sociales latinoamericanas?). In: **Utopía y Praxis Latinoamericana**, Año 6, nº 14, 2001.

FONASH, S. Education and training of the nanotechnology workforce. In: **Journal of Nanoparticle Research** v.3, p.79–82, 2001.

GANDARA, Sabrina da Silva Santos; NUNES, Jeziel da Silva. **Pedidos de Patente de Tecnologias de Conversão e Armazenamento Eletroquímico de Energia Usando Nanotecnologia: Pedidos publicados entre 2001 e 2010**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Diretoria de Cooperação para o Desenvolvimento – DICOD, Centro de Disseminação da Informação Tecnológica – CEDIN, Coordenação de Estudos e Programas – CEPRO, 2012.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1995.

GRAMSCI, Antônio. **Cadernos do Cárcere**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira. Vol. 2, 2004.

GODBE RESEARCH. **Nanotechnology industry labor market study**, 2006. Disponível em: <<http://migre.me/aZZDw>> Acesso em: 25 jun. 2011.

GORDILLO, Mariano M. A modo de presentación: algunos interrogantes sobre la educación científica. In: GORDILLO, Mariano M. (coord.) **Educación, Ciencia, Tecnología y Sociedad**. Organización de los Estados Iberoamericanos (OIE): Documentos de trabajo, nº 3. 2009.

GOUNET, Thomas. **Fordismo e toyotismo na civilização do automóvel**. Boitempo: São Paulo, 1999.

GUTERRES, Sílvia S.; POHLMANN, Adriana R. **Nanotecnologiana área da saúde: mercado, segurança e regulação**. ABDI, 2012. Disponível em

<<http://www.abdi.com.br/Estudo/GUTERRES%20E%20POHLMANN%20APRSEN TACAO%20FINAL%20corrigida.pdf>> Acesso em: 01. fev. 2013.

HARPER, Tim. **Global funding of nanotechnologies & it's impact**. Cientifica, july, 2011.

HARVEY, David. **A condição pós-moderna**. São Paulo, Loyola, 1993.

HARVEY, David. **O enigma do capital**. São Paulo: Boitempo, 2011.

HELMUT KAISER CONSULTANCY. **Molecular technologies, Science, Markets and Society 2015**. 2007 Disponível em: <<http://www.hkc22.com/Molecularindustry.html>> Acesso em 07 nov. 2012.

HULLMAN, A. **The economic development of nanotechnology - an indicators based analysis**. European Commission DG Research, 2006. Disponível em: <<http://migre.me/aZYGw>> Acesso em: 20 jun 2012.

HWANG, D; BRADLEY, J. **The recession's ripple effect on nanotech**, 2010. Disponível em: <<http://migre.me/aZZJW>> Acesso em: 20 jun 2012.

IBGE. **Sala de Imprensa/ PINTEC: Em 2011, empresas industriais gastam mais em pesquisa e desenvolvimento que em 2008**. 2013. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&idnoticia=2534>> Acesso em: 28 dez. 2013.

INEP (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA). **O que é o Pisa?** 2012. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/c/journal/view_article_content?groupId=10157&articleId=15467&version=1.0> Acesso em: 10 nov. 2012.

INVERNIZZI, Noela. **Automação e qualificação do trabalho: elementos para um enfoque dialético**. UNICAMP: Dissertação de Mestrado, 1996.

INVERNIZZI, Noela; FUCK, Paulo, Marcos, KORBES, Cleci. Política de nanotecnología en Brasil: a 10 años de las primeras redes. In: FOLADORI, Guillermo, INVERNIZZI, Noela, ZÁYAGO LAU, Edgar. **Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina**. Cap. 3. México: Miguel Ángel Porrúa, 2012.

INVERNIZZI, N. Implications of Nanotechnology for Labor and Employment. Parker R, Appelbaum, R. (eds.). **Can Emerging Technologies Make a Difference in Development?** New York: Routledge, 2012. p. 140 –153.

JOAQUIN, C.; PLÉVERT, L. **Nanociências: a revolução do invisível**. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

KNOBEL, Marcelo. **Nanoredes**. Com Ciência: 2002. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano11.htm>> Acesso: 28 dez. 2013.

KÖRBES, Cleci. **Educação não-formal em mídias : divulgação científica sobre nanotecnologia**. Tese de doutorado, 2013.

KOSÍK, Karel. **Dialética do Concreto**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2002.

KUENZER, Acácia . Conhecimento e competências no trabalho e na escola. In: **Boletim Técnico do Senac**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p. 2-11, maio/ago., 2002.

KUENZER, Acácia. Exclusão Includente e Inclusão excludente: a nova forma de dualidade estrutural que objetiva as novas relações entre educação e trabalho. In: LOMBARDI, J. C.; SAVIANI, D.; SANFELICE, J.L. (Orgs.). **Capitalismo, trabalho e educação**. 2 ed. Campinas: Autores Associados / HISTEDBR, 2004, p. 77-96.

KUENZER, Acácia. Da dualidade assumida à dualidade negada: o discurso da flexibilização justifica a inclusão excludente. **Educação e Sociedade**. Campinas, vol. 28, n. 100 - Especial, out., 2007. p. 1153-1178

KUNZER, Acácia. Introdução: Refletindo sobre a experiência. In: KUENZER, Acácia (org). **Ensino Médio: construindo uma proposta para os que vivem do trabalho**, 6ª edição. São Paulo: Cortez, 2009, p. 11-22.

KUENZER, Acácia; MORAES, Maria Célia. Temas e tramas na pós-graduação em educação. In: **Educação e Sociedade**.vol.26, n.93, set./dez. 2005.

KUENZER, Acácia. As mudanças no mundo do trabalho e a educação: novos desafios para gestão. In: Naura S. Carapeto Ferreira. (Org.). **Gestão democrática da Educação: atuais tendências, novos desafios**. 7ed.São Paulo: Cortez, 2011. p. 43-72.

LAKHTAKIA, A. **Priming pre-university education for nanotechnology**. Current Science, 90, 1, p. 37-40, 2006.

LAURETH, Waleska C.; INVERNIZZI, Noela. Educando a força de trabalho em Nanotecnologiano Brasil: demandas da indústria e oferta das universidades. In": **Revista Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, volume 34, 2013.

LUKÁCS, G. **Ontologia do ser Social. Segunda Parte: O trabalho**. São Paulo: Livraria de Ciências Humanas, 1979.

LUTHER, W. Nanotechnology training needs from the German perspective. In: ZUKERSTEINOVA, A (ed). **Skill needs in emerging technologies: nanotechnologies**. CEDEFOP, 2007. Disponível em: <http://www.cedefop.europa.eu/etv/Upload/Projects_Networks/Skillsnet/Publications/2007-09-14_final_version.pdf> Acesso em 09 nov. 2012.

LUX RESEARCH. **Nanotech hiring continues to climb: university and corporate education needed for white-coat and blue-collar workers**. 2007. Disponível em: <<http://www.businesswire.com/news/home/20070207005791/en/Nanotech-Hiring-Continues-Climb>> Acesso em: 07 nov. 2012.

JOAQUIN, C.; PLÉVERT, L. **Nanociências: a revolução do invisível**. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

MACNEIL, R. D., JUNG LOWE, J. D., MASTROIANNI, T.; CRONIN, J.; FERK, D. **Barriers to nanotechnology commercialization**. Springfield, 2007. Disponível em: <http://www.ntis.gov/pdf/Report-barriersNanotechnologyCommercialization.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2012.

MALSCH, Ineske.; OUD, M. **Outcome of the open consultation of the European strategy for nanotechnology**. 2008. Düsseldorf: Nanoforum. Disponível em: < <http://www.nanoforum.org/dateien/temp/nanosurvey6.pdf>> Acesso em: 09 nov. 2012.

MALSCH, Ineske. **Nanotechnology education for industry and society**. NanoEIS. 2013

MARX, Karl. **O Capital**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, v.1, 1989.

MARX, Karl. **Contribuição à crítica da economia política**. São Paulo : Expressão Popular, 2008.

MARX, Karl; ENGELS, Friedrich. **A Ideologia Alemã**. São Paulo: Martins Fontes, 3ª edição, 2008.

MARX Karl; ENGELS, Friedrich. **Textos sobre educação e ensino**. MASPERO, François (org.). São Paulo: Editora Moraes, 1992.

MARQUES, Fabrício. Gargalos na sala de aula. In: **Revista FAPESP**, edição 200, 2012. Disponível em: < <http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/gargalo-na-sala-de-aula/>> Acesso em: 05 nov. 2012.

MASPERO, François. **Marx e Engels: textos sobre educação e ensino**. São. Paulo: Editora Moraes, 2ª edição, 1992.

MCTI. **Dados sobre as redes do Programa Rede BrasilNano**. Brasília: MCTI, 2006.

MCTI. **Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia: Proposta do Grupo de Trabalho criado pela Portaria MCTI nº 252 como subsídio ao Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia do PPA 2004-2007**. Brasília: MCTI, 2003.

MCTI. **Discurso do presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, na cerimônia de lançamento do Programa Nacional de Nanociência e Nanotecnologia**. SP, 2005. Disponível em: <http://www.MCTI.gov.br/index.php/content/view/14842/Discurso_do_presidente_da_Republica_Luiz_Inacio_Lula_da_Silva_na_cerimonia_de_lancamento_do_Programa_Nacional_de_Nanociencia_e_Nanotecnologia.html> Acesso em: 14 fev. 2013.

MCTI. **Nanotecnologia: a Nanotecnologia no Brasil**. 2013. Disponível em: < <http://nano.MCTI.gov.br/a-nanotecnologia-no-brasil/>> Acesso em: 10 jan. 2014.

MCTI. **Programa de C,T&I para nanotecnologia**. Brasília: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, 2010.

MCTI. **Relatório sobre a consulta pública ao documento elaborado pelo GT de Nanotecnologia**. Brasília: CGNT, 2004. Disponível em: <http://nano.iiep.org.br/sites/default/files/consulta_publica_nano.pdf> Acesso em: 13 fev. 2013.

MCTI; MDIC. **Memórias do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia**. 2013. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=3&menu=2469&refr=2469>> Acesso em: 01 jan. 2014.

MDIC. **Política de Desenvolvimento de Produto: Programa de Nanotecnologia**. Relatório de Acompanhamento de Execução da Agenda de Ação. Brasília: 2010.

MDIC. **Orientações Para Diagnóstico do Mercado de Nanotecnologias no Brasil**. Secretaria de Inovação, 2012. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1350494918.pdf> Acesso em: 05 jan. 2014.

MDIC. **Comércio Exterior: Exportações de commodities**. 2014. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1955>> Acesso em: 16 jan. 2014.

MILES, I. **Nanotecnologia: oportunidade para a indústria e novas qualificações profissionais**. Brasília: SENAI, 2010.

NANOTEKNOLOGIA HOJE. **PEN e o inventário de produtos nanotecnológicos já disponíveis no mercado. Ele não para de crescer**. 2011. Disponível em: < <http://nanohoje.blogspot.com.br/2011/03/pen-o-inventario-de-produtos.html>> Acesso em: 28 out. 2013.

NANOWERK. **Company & Labs Directory**. Disponível em: <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/research/nanotechnology_links.php> Acesso em: 07 nov. 2012.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Facilitating interdisciplinary research**. Washington: National academy of sciences, 2005. Disponível em: <<http://www.nap.edu/catalog/11153.html>> Acesso em: 18 de fev. 2013.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INICIATIVE (NNI). **Frequently asked questions**. 2012. Disponível em: <<http://www.nano.gov/nanotech-101/nanotechnology-facts>> Acesso em 07.jun.2012

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (NSF). **Site institucional**. 2012. Disponível em: <<http://www.nsf.gov>> Acesso em: 13 dez. 2012.

NAVILLE, Pierre; FRIEDMANN, Georges. **Tratado de Sociologia do Trabalho**. São Paulo: Cultrix, 1973.

NETO, José de Pinho Alves; LEONEL, André Ary. **Nanociência e Nanotecnologia: ficção ou realidade?** Disponível em: <<http://www.ced.ufsc.br/emt/trabalhos/paginanano/nano1.htm>> Acesso em: 23 de out. 2013.

NOVO, Magda Suzano. **Nanociências e Nanotecnologia: uma visão desde seu nascimento até apresentação das temáticas a sociedade.** Tese de doutorado. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 2013.

OECD. **Programme for international student assessment (PISA): results from PISA 2012 – Brazil.** OECD, 2013.

OECD. **El programa PISA de la OCDE: qué es y para qué sirve.** Disponível em: <<http://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2012.

OECD. **The Impacts of Nanotechnology on Companies: Policy Insights from Case Studies.** OCDE, 2010.

OECD. **Manual Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre Inovação Tecnológica.** Tradução FINEP, 2005.

OLIVEIRA, Avelino da Rosa. **Sobre o alcance teórico do conceito “exclusão”.** Civitas, Porto Alegre, v. 4, nº 1, jan.-jun. 2004.

ONET. **Occupations matching "nanotechnology".** USDOL/ETA, 2010. Disponível em: <<http://online.onetcenter.org/find/quick?s=nanotechnology>> Acesso em: 26 jun 2012.

PALMBERG, C., DERNIS, H., MIGUET, C. **Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics.** STI Working Paper 2009/7, OECD Directorate for Science, Technology and Industry, 2009. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/59/9/43179651.pdf>> Acesso em: 25 jun 2012.

PCAST. **Report to the president and congress on the third assessment of the national nanotechnology initiative,** 2010. Disponível em: <<http://migre.me/b02Dw>> Acesso em: 23 jun 2012.

PEIXOTO, Flávio José M. **Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil.** Rio de Janeiro, 2013.

PINTO, Álvaro V. **O Conceito de Tecnologia.** Rio de Janeiro: Contraponto, v. 1, 2005.

PLENTZ, Flávio. **Brazilian Nanotechnology Initiative.** Apresentação no 3º *Workshop* Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios, FIESC, 2013.

PORTER, ALAN L.; YOUTIE, Jan. How interdisciplinary is nanotechnology? In: **J Nanopart Res**, Julho, 2009. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2988207/>> Acesso em: 18 fev. 2013.

PUC-RJ. **Engenharia em Nanotecnologia: Mandala da Nanotecnologia**. 2011. Disponível em: <http://nanotech.ica.ele.puc-rio.br/nano_introducao.asp>. Acesso em: 10 jan. 2011.

ROCO, M. International Strategy for Nanotechnology Research and Development. **Journal of Nanoparticle Research**, Vol. 3, nº. 5-6, pp. 353-360, 2001.

ROCO, M. Converging science and technology at the nanoscale: opportunities for education and training. **Nature Biotechnology** 21, 10, p. 1247-1249, 2003.

ROCO, M. The long view of nanotechnology development: the national nanotechnology initiative at ten years. In: ROCO, M. MIRKIN, CA; HERSAM, MC. **Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook**, 2010. New York: Springer.

ROPÉ, F.; TANGUY, L. (orgs.). **Saberes e Competência: o uso de tais noções na escola e na empresa**. Campinas: Papirus, 1997.

SAVIANI, Dermeval. Transformações do capitalismo, do mundo do trabalho e da educação. In: SAVIANI, D.; LOMBARDI, José C.; SANFELICE, José L. (org). **Capitalismo, trabalho e educação**. Campins: Histedbr, 2004.

SEMPA. **Skills and the future of advanced manufacturing: a summary skills assessment for the SSC advanced manufacturing cluster**. The Sector Skills Council for Science, Engineering and Manufacturing Technologies, UK. 2009. Disponível em: <<http://migre.me/b02Sn>> Acesso em: 24 jun 2012.

SENAI/SP. **Nanomundo: um universo de descobertas**. São Paulo: Editora SENAI/SP, 2012.

SENAI/SP. **Curso: Nanociência e Nanotecnologia**. 2013. Disponível em: <<http://leopoldina.sp.senai.br/curso/66598/106/nanociencia-e-nanotecnologia>> Acesso em: 29 dez. 2013.

SCHULZ, Peter. **A encruzilhada da nanotecnologia**. Rio de Janeiro: Vieira&Lent, 2009.

SCHUMANN, U. Skill needs in an innovative sector: nanotechnology. **Skills for Europe's future: anticipating occupational skill needs**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Cedefop Panorama Series, 2009. Disponível em: <http://www.cedefop.europa.eu/EN/Files/5194_en.pdf> Acesso em: 15 jul 2011.

SILVA, Cylon. G. **O Programa Nacional de Nanotecnologia e o Centro Nacional de Referência em Nanotecnologia**. Brasília: MCTI, 2003.

SING, Kshitij A. **Nanotechnology skills and training survey. Summary of Outcomes**. Institute of Nanotechnology UK. 2007. Disponível em: <<http://www.nanoforum.org/dateien/temp/Nanotechnology%20Skills%20and%20Training%20Survey%20Results.pdf?15102010220616>> Acesso em: 09 nov.2012.

SING, K.A. **Nanotechnology skills and training survey**. Institute of Nanotechnology UK, 2007. Disponível em: <<http://migre.me/b02VC>> Acesso em: 26 jun 2012.

STOA. **Interactions between new technologies and the job market, flexecurity and training/vocational training**. Brussels, 2007. Disponível em: <<http://migre.me/b0304>> Acesso em: 25 jun 2012.

TEDESCO, Juan C. Prioridad a la enseñanza de las ciencias: una decisión política. In: GORDILLO, Mariano M. (coord.) **Educación, Ciencia, Tecnología y Sociedad**. Organización de los Estados Iberoamericanos (OIE): Documentos de trabajo, nº 3. 2009.

TOMA, H. E. **O mundo manométrico: a dimensão do novo século**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

USDL. **Career voyages: nanotechnology**. 2006. Disponível em: <<http://migre.me/b3aIT>> Acesso em: 11 ago 2009.

VAN HORN, C.; FICHTNER, A. **The workforce needs of companies engaged in nanotechnology research in Arizona**. New Brunswick, 2008. Disponível em: <<http://migre.me/b3ahW>> Acesso em: 26. jun 2012.

VAZQUEZ, A. S. **Filosofia da práxis**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1968.

WAKAMATSU, Mitzi H. **Análise interdisciplinar das oportunidades e riscos associados às Nanociências e às Nanotecnologias**. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2009.

WHITESIDES, G. Science and education for Nanoscience and Nanotechnology. In: ROCO e BAINBRIDGE (org.) **Nanotechnology: Societal implications: maximizing benefits for Humanity**. NSF: p. 33-39, 2003. Disponível em: <<http://repo-nt.tcc.virginia.edu/classes/societalnano/NanoTechSocImpMaxBenHum.pdf#page=45>> Acesso em: 25 jun 2012.

YOUTIE, J.; SHAPIRA, P.; KAY, L. Global developments in nanotechnology commercialization. **Presentation at the Manchester International Workshop on Nanotechnology, Society and Policy, Manchester, UK, 2009**. Disponível em: <http://migre.me/b3aja> Acesso em: 24 jun 2012.